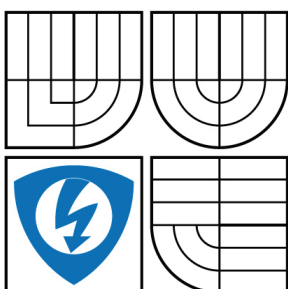


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

POROVNÁVACÍ STUDIE PID A PSD REGULÁTORŮ

COMPARATIVE STUDY OF PID AND PSD CONTROLLERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

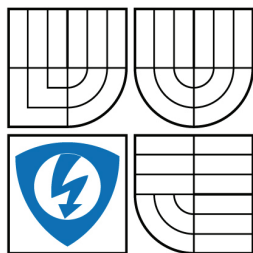
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VIKTOR STANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. PETR PIVOŇKA, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Viktor Staněk

ID: 89561

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Porovnávací studie PID a PSD regulátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem projektu je ověřit heterogenní struktury diskrétních regulátorů PSD typu a jejich porovnání se spojitými regulátory PID typu. Ověření proveďte na typických přenosových funkcích bez i s dopravním zpožděním. Sledujte rovněž vlivy periody vzorkování u PSD regulátorů při změně žádané hodnoty a při působení poruch v různých místech regulačního obvodu. Dosažené výsledky zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

PIVOŇKA, P.: Číslicová řídicí technika, VUT Brno, skriptum, 2003

PIVOŇKA, P. Comparative Analysis in Implementations Discrete PID Controllers. In Proceedings East West Fuzzy Colloquium 2008. Zittau, Germany, 2008. s. 162-167.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Pivoňka, CSc.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Popis struktur PID a PSD regulátorů.

Ověření funkce heterogenních struktur PSD regulátorů na typických přenosových funkcích. Odezvy na změnu vstupní hodnoty a vstup poruchy. Vliv změny vzorkovací periody u PSD regulátorů. Ověření vlivu derivační složky PS-D a S-PD regulátorů.

Klíčová slova

PID, PSD, I-PD, PI-D, S-PD, P-SD, regulátor, heterogenní struktura

Abstract

Description of PID and PSD controllers structures.

Verification of function of heterogeneous structures of PSD controllers on typical transfer functions. Responses to changes of input value. Effect of change of sampling period on PSD controllers. Verification of influence of derivative part of PS-D and S-PD controllers.

Keywords

PID, PSD, I-PD, PI-D, S-PD, P-SD, controllers, heterogeneous structure

Bibliografická citace

STANĚK, V. *Porovnávací studie PID a PSD regulátorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 51 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Petr Pivoňka, CSc.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Porovnávací studie PID a PSD regulátoru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Petru Pivoňkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

| | |
|--|-----------|
| 1. ÚVOD | 8 |
| 2. REGULÁTORY SPOJITÉ P+I+D | 10 |
| 2.1 Pid regulátor | 10 |
| 2.2 PI-D regulátor | 12 |
| 2.3 I-PD regulátor | 13 |
| 3. REGULÁTORY DISKRÉTNÍ P+S+D | 15 |
| 3.1 psd regulátor..... | 15 |
| 3.2 PSD s filtrací derivace | 16 |
| 3.3 PS-D regulátor | 23 |
| 3.4 s-ps regulátor..... | 25 |
| 4. OVĚŘOVÁNÍ DISKRÉTNÍCH REGULÁTORŮ | 27 |
| 4.1 PSD regulátor..... | 28 |
| 4.1.1 PSD + TS1..... | 28 |
| 4.1.2 PSD + TS2..... | 31 |
| 4.1.3 PSD + TS3..... | 34 |
| 4.2 PS – D regulátor | 37 |
| 4.2.1 PS - D + TS1..... | 37 |
| 4.3 S – PD regulátor | 41 |
| 4.3.1 S - PD + TS1..... | 41 |
| 5. ZÁVĚR..... | 49 |
| 6. SEZNAM LITERATURY | 51 |

1. ÚVOD

Regulátor je z technického pohledu zařízení, které definovaným způsobem ovlivňuje regulovaný objekt.

Pro dále popisované regulátory bude tímto objektem dynamická soustava s definovanými vlastnostmi.

Regulátor zpracovává vstupní informace (požadované hodnoty v regulované soustavě, skutečné hodnoty v soustavě) a prostřednictvím akčních veličin (výstupů) zasahuje do soustavy tak, aby odchylky mezi požadovanými a skutečnými hodnotami soustavy byly minimální.

V dalším se budeme zabývat specifickým typem regulátoru s jednou žádanou a jednou regulovanou veličinou, a to jeho spojitou PID a diskrétní PSD formou.

Cílem této práce je zaměřit se na porovnání diskrétní a spojitý formy PID regulátoru, tedy je-li možné nahradit v regulačním obvodu zapojený analogový PID regulátor beze změn parametrů jeho diskrétní obdobou a případně jaké změny můžeme očekávat a co je jejich důvodem. Dále je cílem zaměřit se na možné modifikace vnitřní struktury PSD regulátoru za účelem zlepšení požadovaných parametrů soustavy, které nemůže poskytnout základní struktura, a ověření jejich funkčnosti na spojitých soustavách. Jedná se o modifikace PS-D,S-PD. Tyto heterogenní struktury PSD regulátoru byly vybrány díky jejich možnosti porovnání s jejich spojitými ekvivalenty.

Vlastní realizace regulátorů bude provedena v prostředí Matlab Simulink. Regulátory budou modelovány jako stavové modely, v grafické formě, která umožní názornou prezentaci jednotlivých změn v regulátorech.

Regulátory budou testovány na vybraných soustavách vybraných ze zátěžového testu určeného pro posuzování kvality PID regulátorů [lit. 4]. Při ověřování bude použita i soustava s dopravním zpožděním. Hlavním cílem je jednak ověření přínosů změn v regulátoru, tedy možnost dosažení výsledků které nám základní struktura neumožňuje a pak porovnání funkčnosti spojitý a diskrétní varianty a zejména vliv změny vzorkovací periody na funkci diskrétního regulátoru.

Regulátor bude vytvořen jako ucelený subsystém jehož vstupem je odchylka a výstupem akční zásah, a tento subsystém bude vložen do standardního zpětnovazebního obvodu se spojitou soustavou. O A/D, D/A převod mezi spojitou a diskrétní částí se Simulink stará automaticky, není potřeba vkládat zvlášť další prvky, je pouze nutné zajistit simulaci převodníky vytvořeného dopravního zpoždění.

Vlastní výsledky budou prezentovány jako grafické výstupy odpovědí regulovaných obvodů na jednotkové skoky řízení a poruchy převzaté z výstupu funkčního bloku Scope prostředí Simulink. Výstupy ze stejné soustavy řízené rozdílnými regulátory budou implementovány do jednoho grafu, aby bylo možné snadno posuzovat případné odchylky.

2. REGULÁTORY SPOJITÉ P+I+D

V kapitole jsou popsány struktury spojité regulátory skládající se ze tří větví (kanálů), a to proporcionální, integrační a derivační větve.

Akční veličina těchto regulátorů se tedy skládá ze tří složek a je realizována součtem výstupů z výše uvedených větví regulátoru.

Podle připojení vstupů těchto větví do regulačního obvodu rozeznáváme tři základní struktury regulátoru a to PID, PI-D, I-PD.

2.1 PID REGULÁTOR

U této struktury vstupuje regulační odchylka do všech tří větví regulátoru.

Akční veličina

$$\begin{aligned} x(t) &= a_0 e(t) + a_i \int_{j=1}^k e(t) dt + a_d \frac{de(t)}{dt} = \\ &= K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{j=1}^k e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Přenosová funkce

$$F(p) = K \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right) = \frac{k (T_1 + 1) (T_2 + 1)}{p} \quad (2)$$

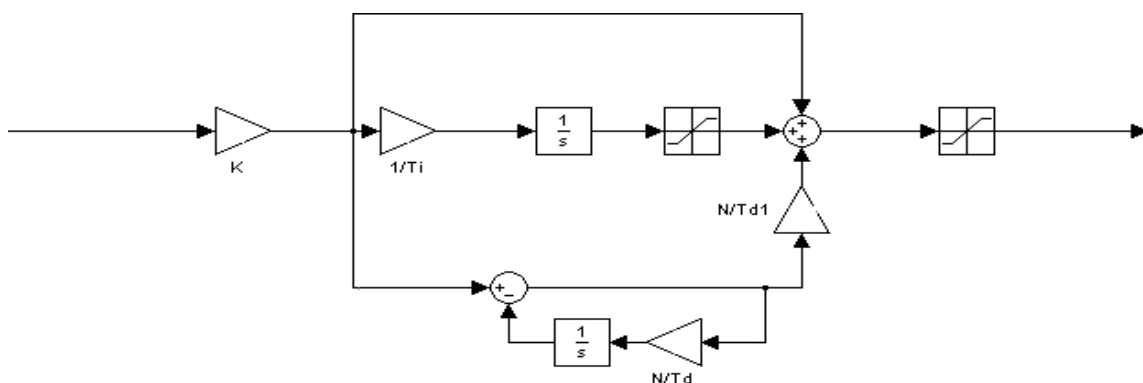
Výše uvedená přenosová funkce nesplňuje podmínku fyzikální realizovatelnosti (stupeň polynomu čitatele musí být nižší nebo nanejvýše roven stupni polynomu jmenovatele). Realizovatelnost se v praxi zajišťuje doplněním přenosové funkce o setrvačný člen.

Přenosová funkce fyzikálně realizovatelného PID regulátoru

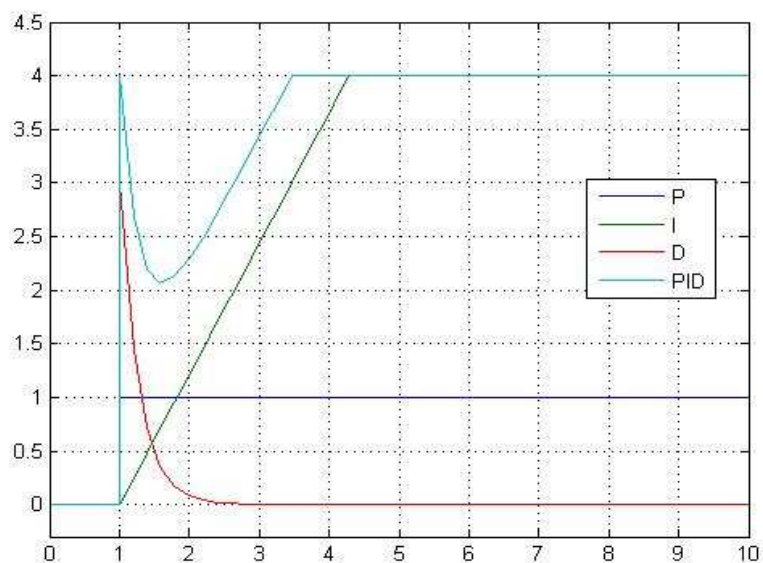
$$F(p) = \frac{k(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{p(\varepsilon p + 1)} \quad (3)$$

$$\text{Kde } \varepsilon \ll T_1, T_2 \quad (4)$$

Reálné regulátory mají i další fyzikální omezení, na příklad omezení integrační složky, omezení akční veličiny apod.



Obr1. Stavový diagram reálného PID regulátoru

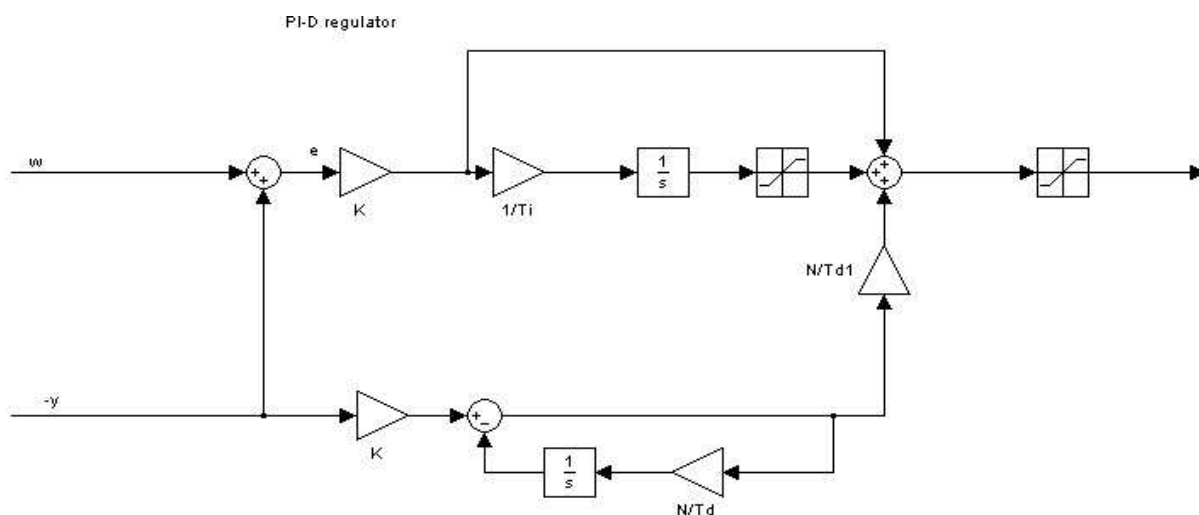


Obr2. Odezva regulátoru na jednotkový skok vstupního signálu e(t).

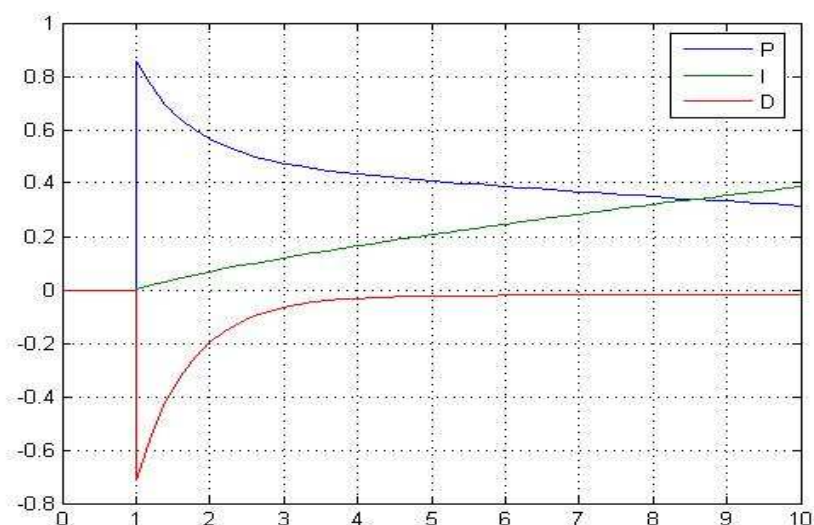
2.2 PI-D REGULÁTOR

Jde o modifikaci PID regulátoru, kde regulační odchylka vstupuje pouze do proporcionální a integrační větve, zatím co do derivační větve vstupuje zpětnovazební signál z výstupu soustavy, tedy regulovaná veličina.

Teoreticky regulátor umožňuje snížit překmit při skokové změně řízení, protože v okamžiku změny polarity regulační odchylky je rychlost změny výstupu soustavy maximální a prostřednictvím derivační větve regulátor působí akčním zásahem proti této změně.



Obr3. Stavový diagram regulátoru

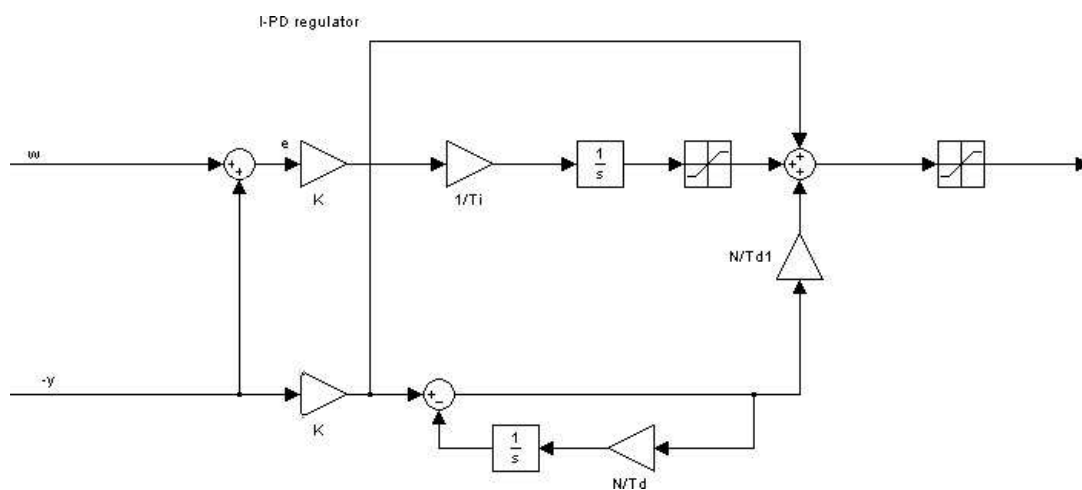


Obr4. Odezva na skok řízení – regulátor v uzavřené smyčce, přenos soustavy $F_s=1$

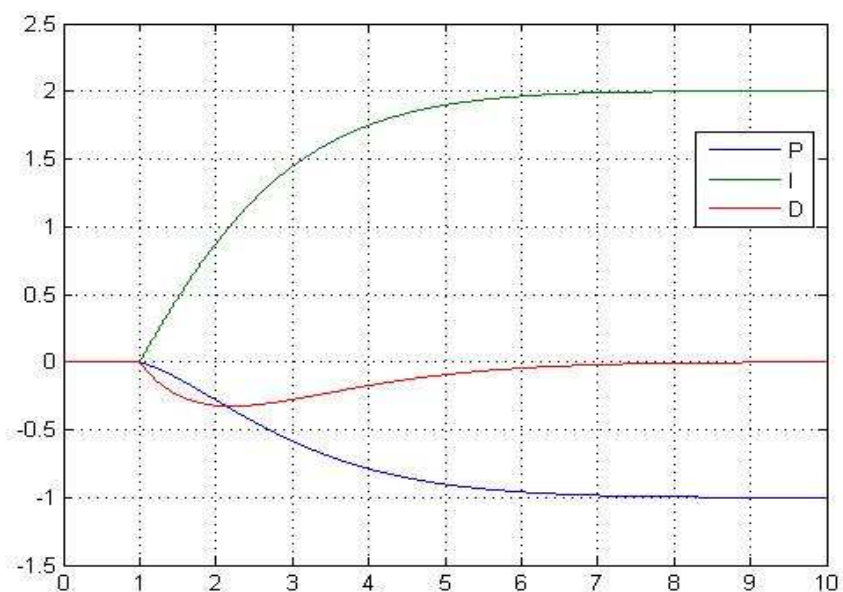
2.3 I-PD REGULÁTOR

U tohoto regulátoru je regulační odchylka zpracovávána pouze integrační větví. Větev proporcionální a derivační jsou připojeny k zpětnovazebnímu signálu z výstupu soustavy.

Teoreticky tato struktura regulátoru dovoluje realizovat regulační průběh řízení bez překmitu a navíc i významně zlepšit regulaci poruchy.



Obr5. Stavový diagram regulátoru



Obr6. Odezva na skok řízení – regulátor v uzavřené smyčce, přenos soustavy $F_s=1$

3. REGULÁTORY DISKRÉTNÍ P+S+D

V kapitole se zabýváme diskrétní analogií spojitých P+I+D regulátorů popsaných v předcházející kapitole

3.1 PSD REGULÁTOR

Akční veličina tohoto regulátoru je tvořena třemi složkami a to proporcionální, sumační a diferenční. Jde o analogii se složkami spojitého PID regulátoru.

Diskretizací diferenciální rovnice převedeme tuto na rovnici diferenční. Integrál nahradíme metodou obdélníků zleva dle [lit. 1]. Perioda vzorkování je T.

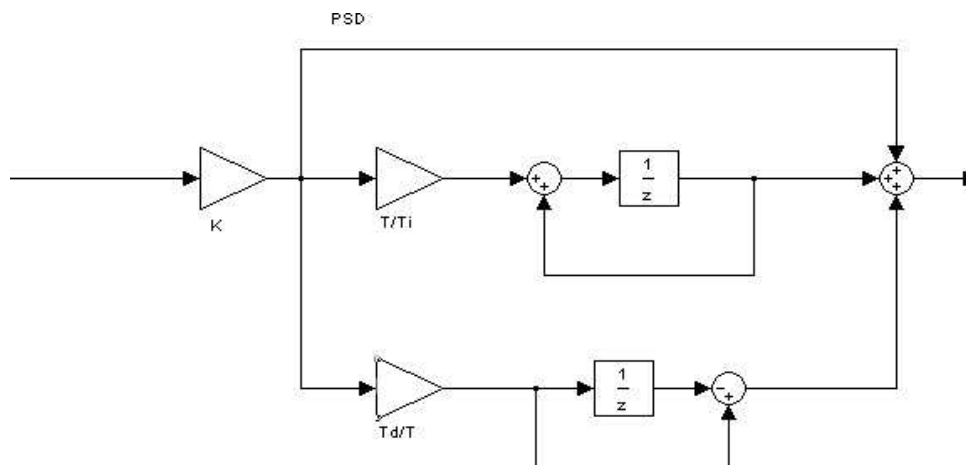
Akční veličina

$$x(kT) = K \{ e(kT) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=1}^k e(j) + \frac{T_d}{T} (e(kT) - e((k-1)T)) \} \quad (5)$$

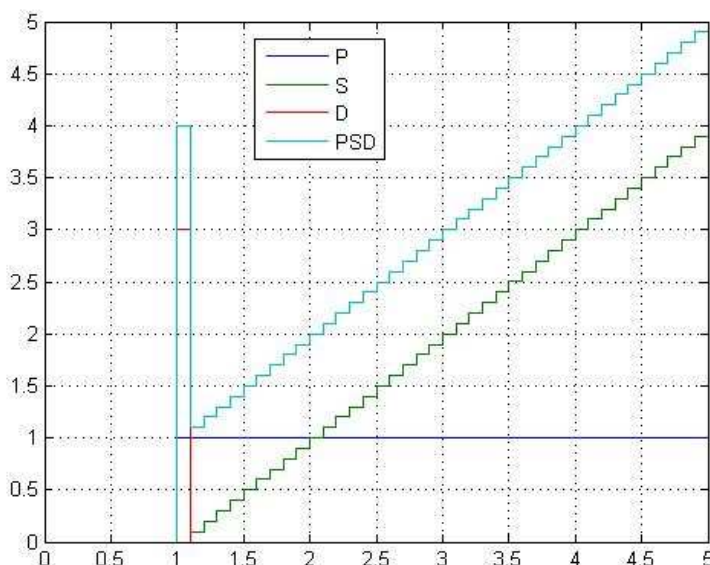
Přenosová funkce

$$F(z) = K \left\{ 1 + \frac{T}{T_i} \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} + \frac{T_d}{T} (1 - z^{-1}) \right\} \quad (6)$$

Vidíme, že v přenosové funkci přibyl oproti spojitému regulátoru další parametr, a to perioda vzorkování T.



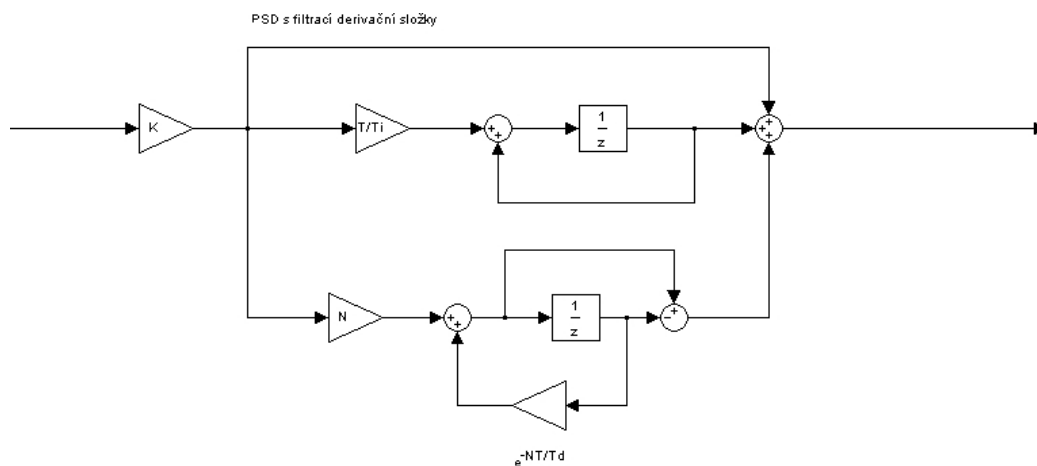
Obr7. Stavové schéma polohového PSD regulátoru



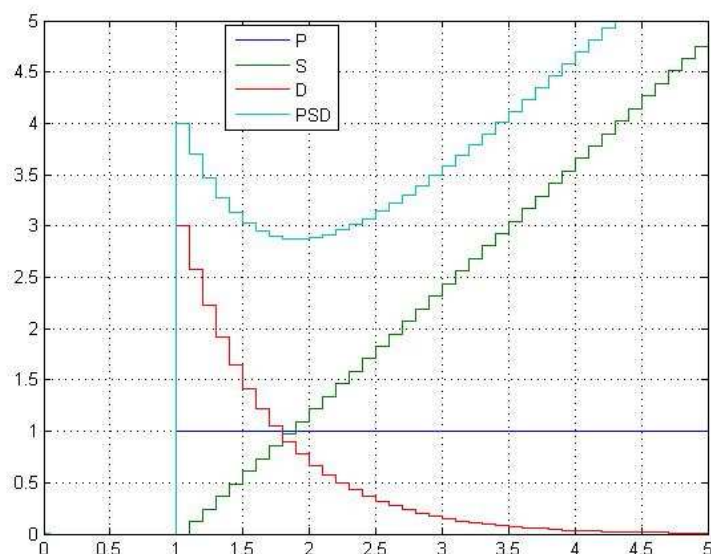
Obr8. Odezvy jednotlivých větví a celého regulátoru na vstupní jednotkový skok

Proporcionální a integrační složka se chovají obdobně jako u PID regulátoru. Derivační větev v podstatě realizuje ideální derivaci vstupního signálu. Pokud se chceme s přechodovou charakteristikou PSD přiblížit přechodové charakteristice reálného PID regulátoru, musíme do derivační větve PSD zavést filtraci, což je obdoba setrvačného členu u PID.

3.2 PSD S FILTRACÍ DERIVACE



Obr9. Stavové schéma regulátoru s filtrací derivace

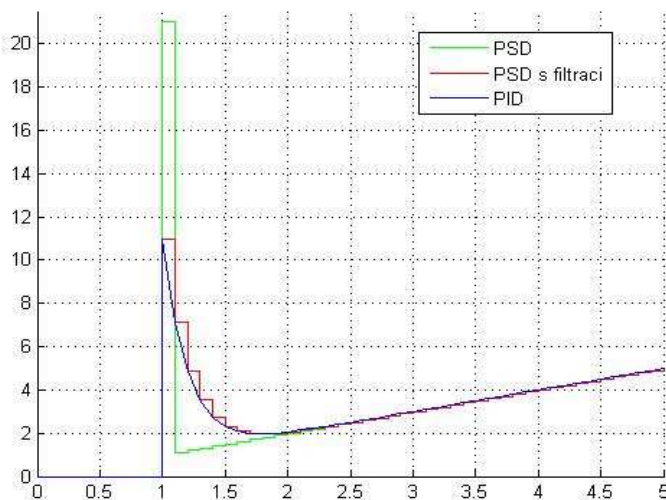


Obr10. Odezva regulátoru PSD s filtrací na jednotkový skok.

Pomocí konstant T_d a N nyní můžeme nastavit odezvu regulátoru tak, že odpovídá reálnému regulátoru PID.

Na následujícím obrázku můžeme porovnat odezvy regulátorů PID, PSD a PSD s filtrací. Nastavení časových konstant všech tří regulátorů je stejné, u PID a PSD s filtrací je parametr N také nastaven stejně.

Z obrázku je patrné, že PSD s filtrací derivate a PID mají shodné průběhy.



Obr11. Odezvy PSD, PSD s filtrací, PID

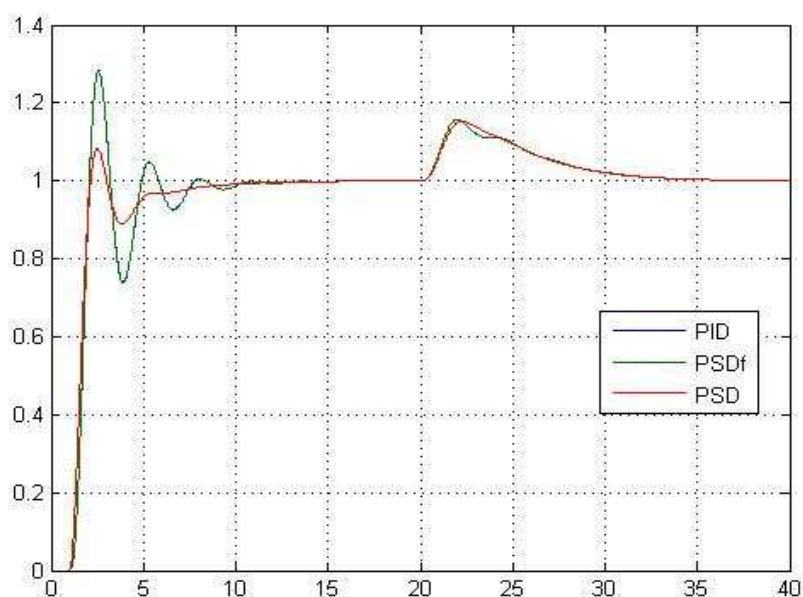
Zkusíme aplikovat regulátory PID, PSD a PSDf na vybranou soustavu.

$$FS1 = 1/(s+1)^3 = 1/(s^3 + 3s^2 + 3s + 1)$$

Nastavení regulátorů určíme podle metody Zieglera a Nicholse.

$$K_{krit} = 8$$

$$\text{Parametry regulátoru: } K=0,6 \cdot 8=4,8 \quad T_i=0,5 \cdot 8=4 \quad T_d=0,125 \cdot 8=1$$

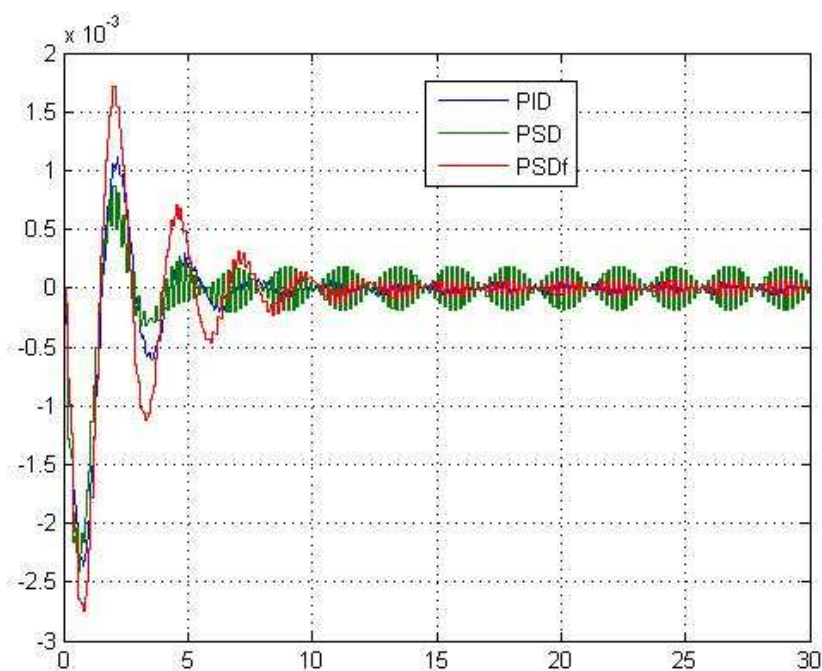


Obr12. PID, PSD, PSDf aplikované na soustavu FS1

Parametr N byl pro PSDf i PID nastaven stejně $N=5$. Perioda vzorkování pro PSD a PSD s filtrací derivace byla nastavena s velkou rezervou na hodnotu $T=0,001$. Je vidět, že odezvy s PSDf odpovídají odezvám s PID. Pro simulaci PID byl použit krok řádově menší, než bylo T.

Hlavní význam filtrace derivace se projeví při působení kmitavého poruchového signálu. PSD regulátor je sice schopen případnou chybu eliminovat, ale může dojít k rozkmitání akčního zásahu a to až do takové míry, že může regulátor znovu soustavu rozkmitat.

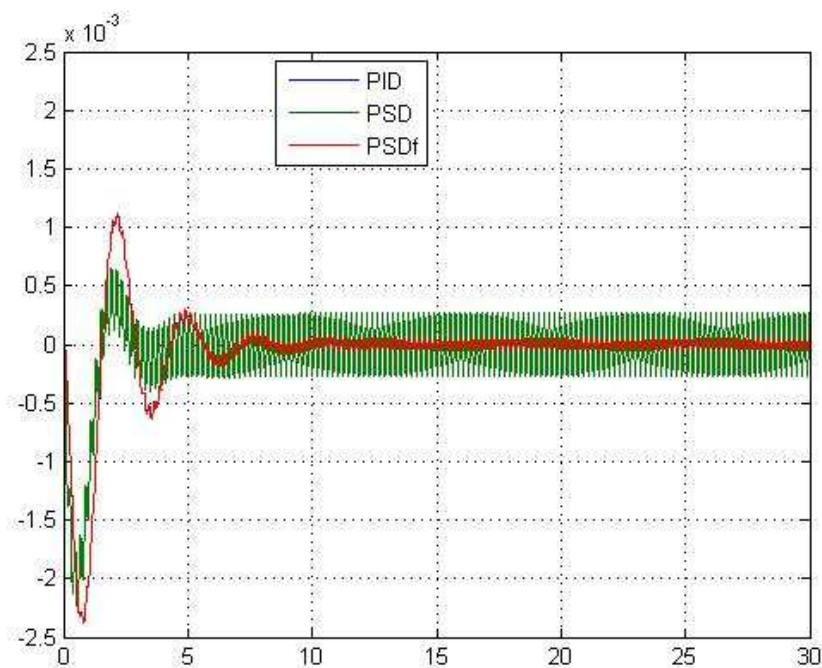
Nastavení regulátorů zůstává stejné. Amplituda poruchového signálu je 0,05 a frekvence $\omega=30\text{rad/s}=4,77\text{Hz}$



Obr13. Akční zásahy regulačního průběhu při kmitavém poruchovém signálu.

Perioda vzorkování $T=0,1$ s

Snížíme periodu vzorkování $T=0,001$ s

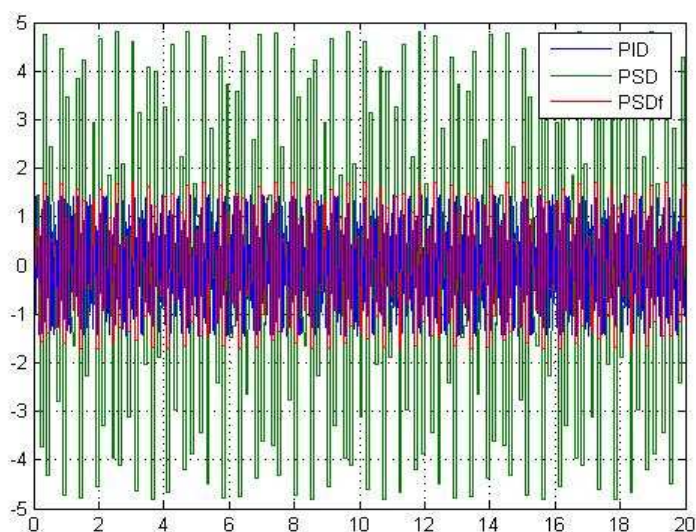


Obr14. Akční zásahy regulačního průběhu při kmitavém poruchovém signálu.

Perioda vzorkování $T=0,001$ s

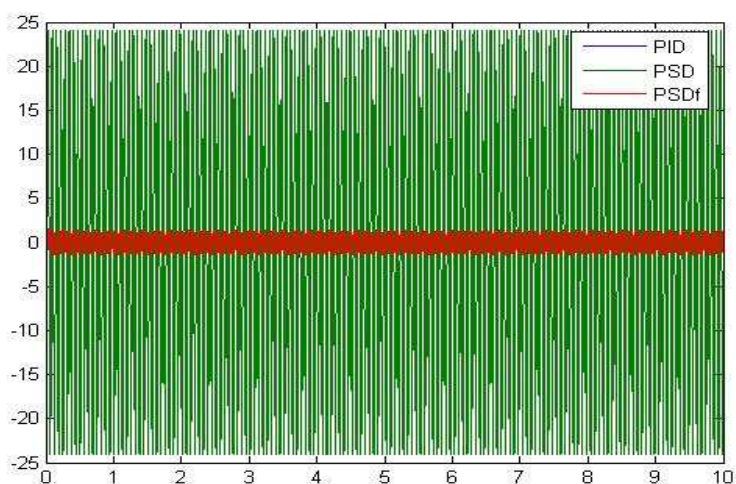
Vidíme že velikost akčního zásahu je téměř pětkrát vyšší než u regulátoru s filtrací derivační složky. Pokud porucha vstupuje na výstup soustavy (šum z čidel), dojde opět k rozkmitání akčního zásahu ale tentokrát v řádu jednotek, nikoli tisícín.

Při frekvenci $100\text{rad/s}=15\text{Hz}$ a vzorkovací periodě $T=0,1$ (10 Hz) dostaneme průběh akčních zásahů z regulátorů jako na Obr15.



Obr15. Akční zásah regulátoru

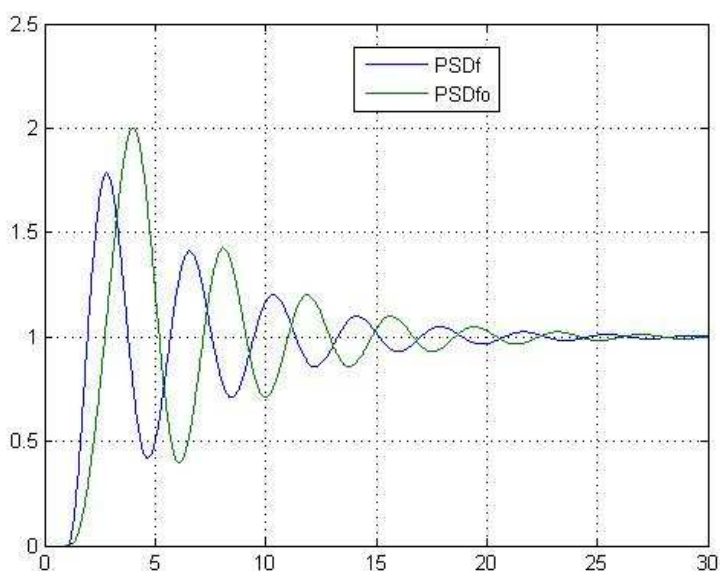
Pokud vzorkovací periodu snížíme na $T=0,001$ (1kHz), maximum zásahu z PID a PSDf zůstává stejné(okolo 1.5), ale u PSD regulátoru je amplituda kmitů okolo 25, jak vidíme na Obr16.



Obr16. Akční zásah regulátoru

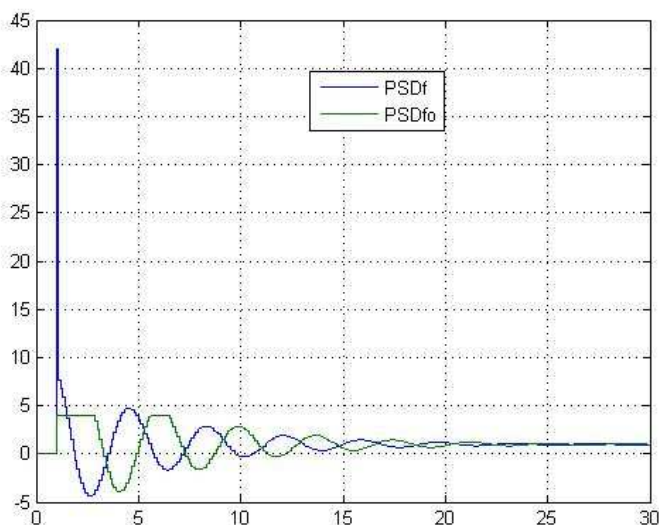
Pokud tedy chceme porovnávat PID a PSD regulátory nasazené na reálných soustavách, musíme dbát na to, aby PSD regulátor měl kvalitní filtr, který potlačí kmitočty rušivých signálů vyšších než je vzorkovací perioda.

Implementujeme-li do struktury ještě navíc omezení výstupu z regulátoru, abychom omezili špičky akčních zásahů, je vhodné omezit i velikost sumační složky, aby nedocházelo k jejímu přebuzení a tím ke zpomalování přechodného děje v případě, že velikost sumační složky přesáhne velikost povoleného výstupu.



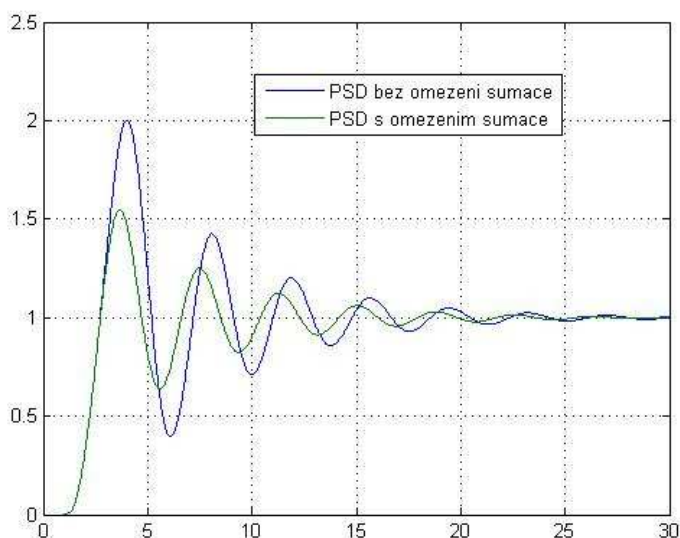
Obr17. Odezvy PSDf a PSDf s omezením výstupu(PSDfo) na skok řízení.

Vidíme jak omezení akčního zásahu prodloužilo přechodový děj a zvýšilo maximální překmit.

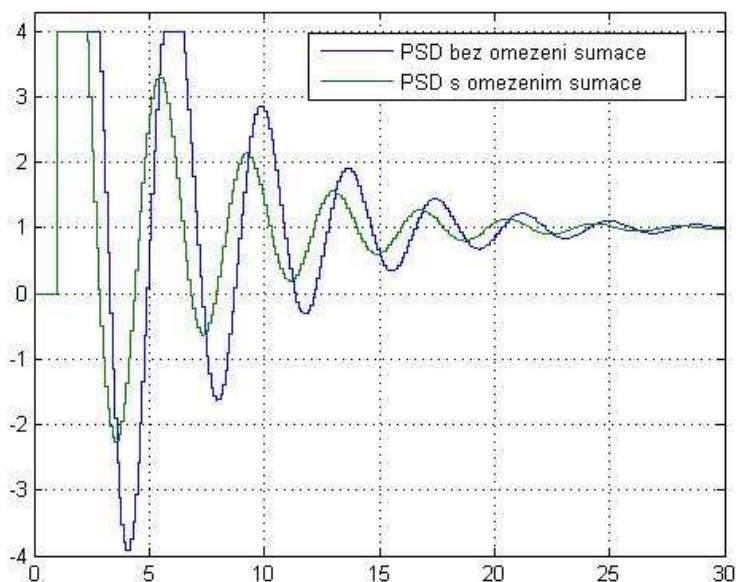


Obr18 Akční zásahy zásahy regulátorů PSDf a PSDfo

Omezili jsme velikost výstupu, výstup po řadu vzorků drží konstantní hodnotu, ale sumační složka regulátoru dále sumuje. V momentě, kdy dojde k převrácení znaménka odchylky se hodnota začne odčítat a dojde ke zdržení v této větvi regulátoru. Čím delší bude doba, kdy je akční zásah omezen, tím delší čas ztratíme při snižování nasumované hodnoty. Proto je třeba zavést omezení sumační složky.



Obr19. Odezvy PSD regulátorů bez a s omezením v sumační větvi

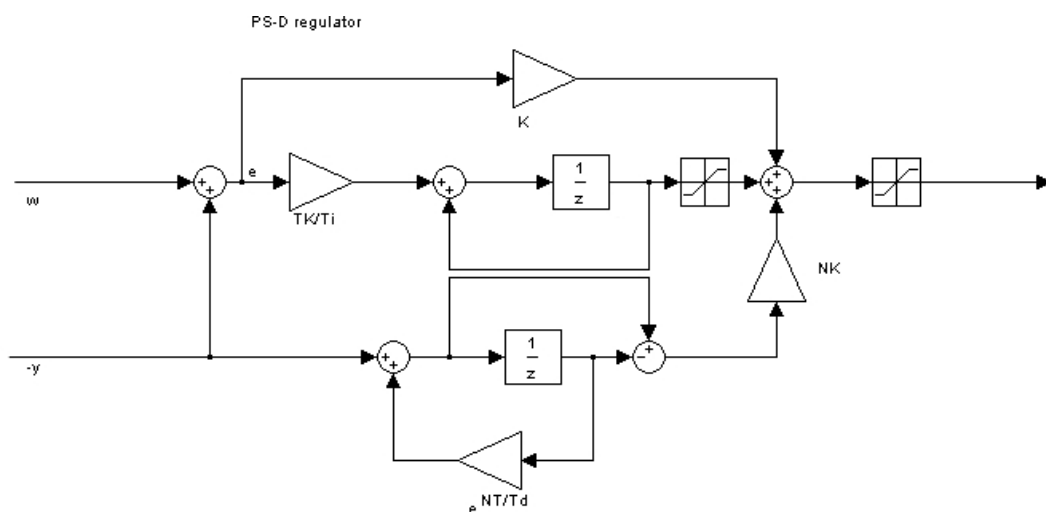


Obr20. Průběh akčních zásahů.

Regulátory jsou nastavené stejně jako v předcházejícím případě. Vidíme, že u regulátoru s omezením sumace došlo k snížení překmitu, protože změna polarity odchylky se v sumační větvi promítla okamžitě do akčního zásahu, a akční zásah započal dříve.

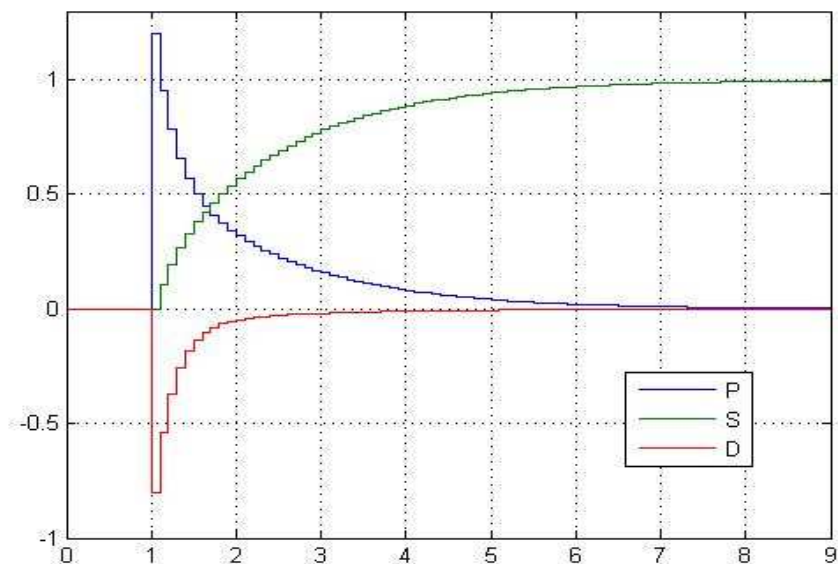
3.3 PS-D REGULÁTOR

PS-D regulátor je modifikovaná struktura PSD regulátoru, kde odchylka vstupuje pouze do sumační a proporcionální větve, do derivační vstupuje přímo signál záporné zpětné vazby. Tímto dochází k omezení překmitu, protože derivační složka nereaguje na odchylku, ale na zápornou výstupní hodnotu, tedy působí proti změně. V době kdy je odchylka nulová je nejrychlejší změna výstupu a derivační složka působí proti a snižuje velikost akčního zásahu, čímž snižuje velikost překmitu.



Obr21. Stavový diagram PS-D regulátoru.

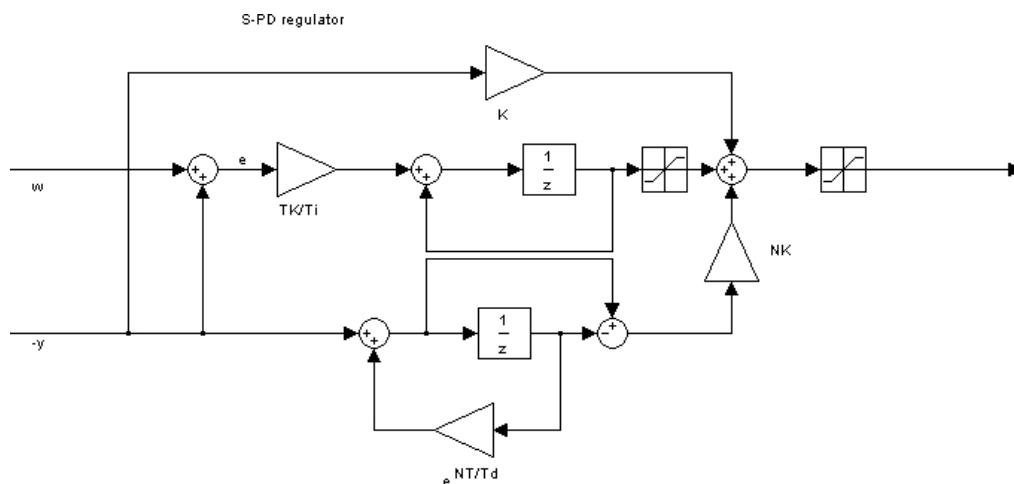
Na Obr21 jsou průběhy jednotlivých složek regulátoru zapojeného v uzavřené smyčce s přenosem soustavy $F_s=1$ v odpovědi na jednotkový skok.



Obr22.

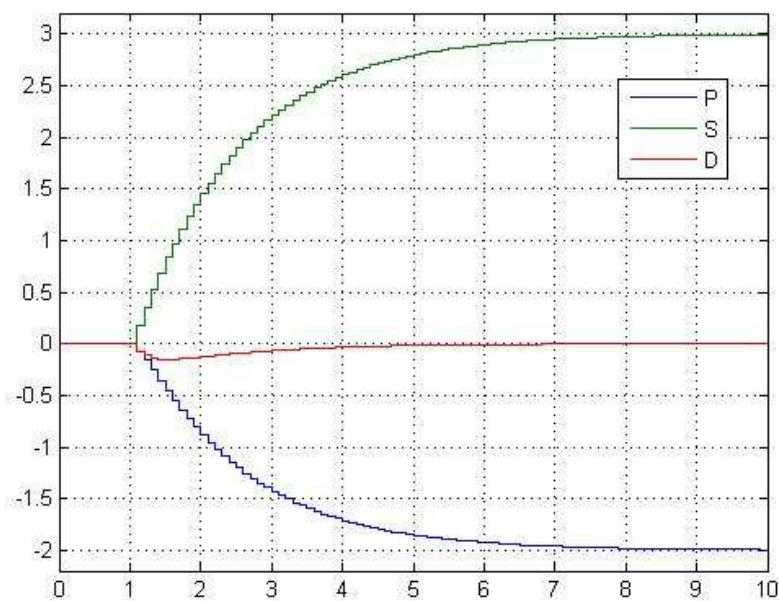
3.4 S-PD REGULÁTOR

Pokud se snažíme o odstranění překmitu soustavy, ještě lepší výsledky lze dosáhnout se strukturou S-PD, kdy odchylka vstupuje pouze do sumační větve.



Obr23. Stavový diagram S-PD regulátoru.

V tomto případě by reagovala pouze sumační složka při zapojení v otevřené smyčce. Pokud regulátor uzavřeme dostaneme výsledek jako na Obr.24.



Obr.24. Reakce PSD v uzavřené smyčce.

Nyní se v záporném smyslu projevují proporcionální a derivační část regulátoru, (opět si je můžeme představit jako samostatný regulátor ve zpětné vazbě s vlastním akčním výstupem) a pomáhají dosáhnout žádané hodnoty bez nebo s minimálním překmitem.

4. OVĚŘOVÁNÍ DISKRÉTNÍCH REGULÁTORŮ

Jednotlivé struktury diskrétních P+S+D regulátorů popsané výše budou „nasazeny“ na následující vybrané testovací soustavy. Vzorkovací perioda bude proměnným parametrem, aby bylo možno ověřit její vliv na kvalitu regulace.

Pro srovnání bude na tutéž soustavu nasazen i odpovídající spojitý P+I+D regulátor se stejně nastavenými parametry.

Testovací soustava TS1

$$F_s = \frac{1}{(T_1 s + 1)^2} \quad (7)$$

Testovací soustava TS2

$$F_s = \frac{1 - \alpha s}{(T_1 s + 1)^3} \quad (8)$$

Testovací soustava TS3

$$F_s = \frac{1}{T_1 s + 1} e^{-s} \quad (9)$$

4.1 PSD REGULÁTOR.

4.1.1 PSD + TS1.

Testovací soustava TS1.

$$F_s = \frac{1}{(T_1 s + 1)^2} \quad T_1 = 1 \quad (10)$$

Parametry regulátoru byly navrženy metodou Zieglera a Nicholse.

$K=4,8$

$T_i=4$

$T_d=1$

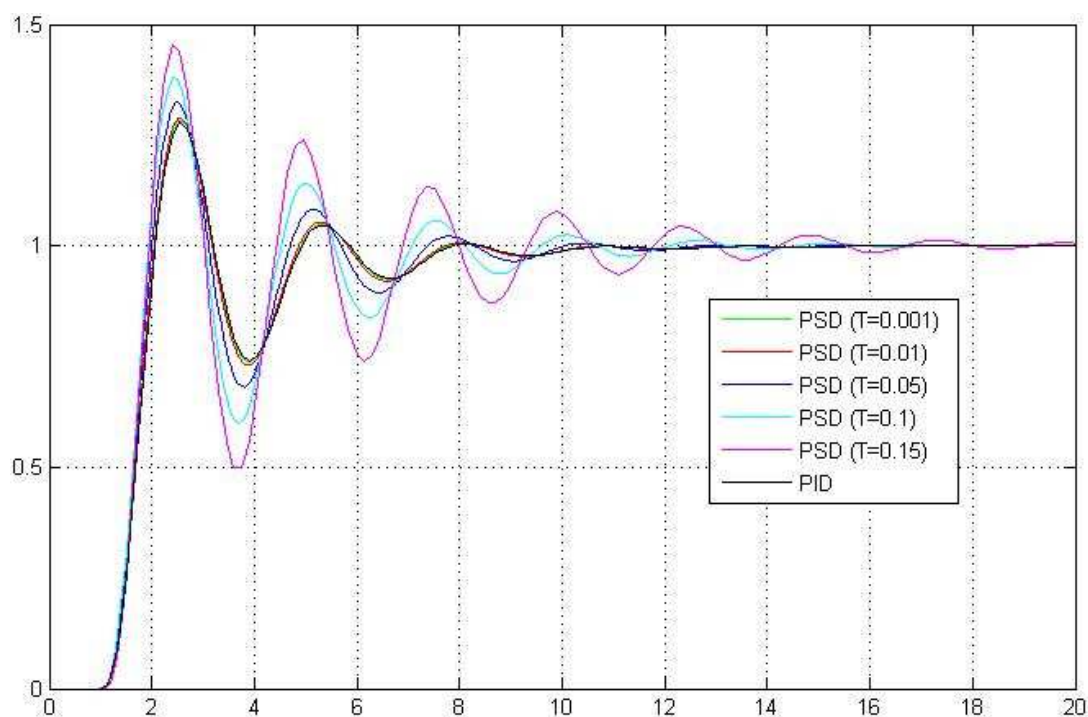
$N=5$

Omezovače integrační složky a akčního výstupu regulátoru vypnuty.

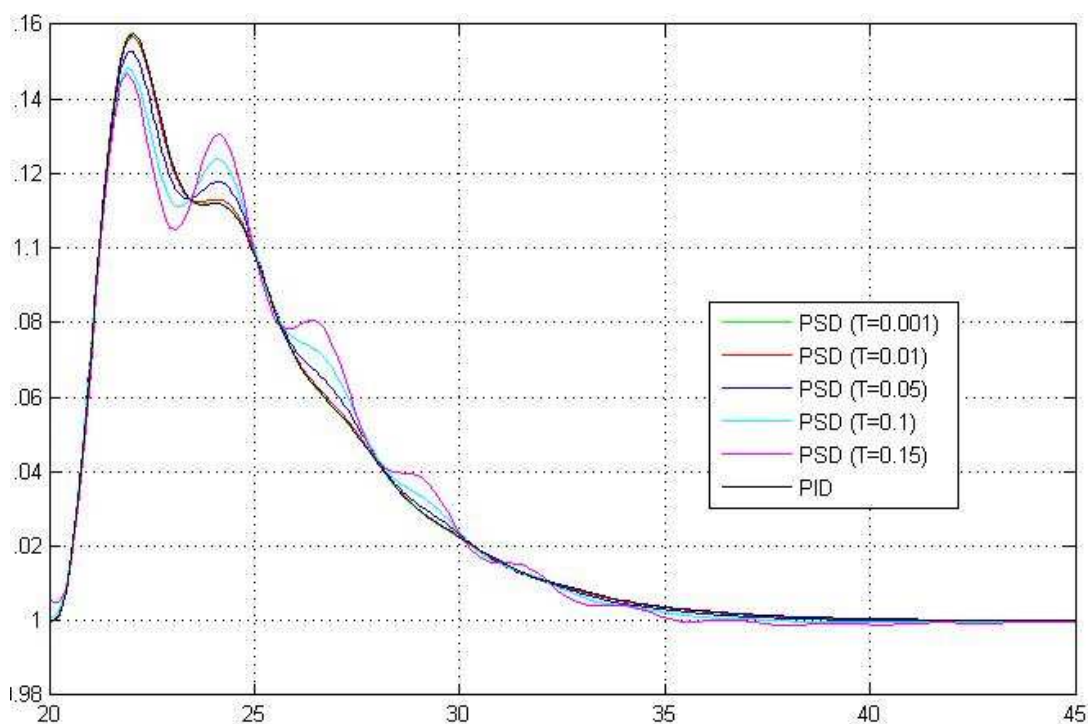
Z přechodové charakteristiky řízení je vidět, jak se zvětšováním periody vzorkování narůstá amplituda překmitů a jejich počet do ustáleného stavu. Hranicí akceptovatelnosti je perioda vzorkování $T=0,1 T_1$. Rychlost prvního dosažení žádané hodnoty se prakticky nemění.

Amplituda akčních zásahů se až do hranice akceptovatelnosti rovněž prakticky nemění

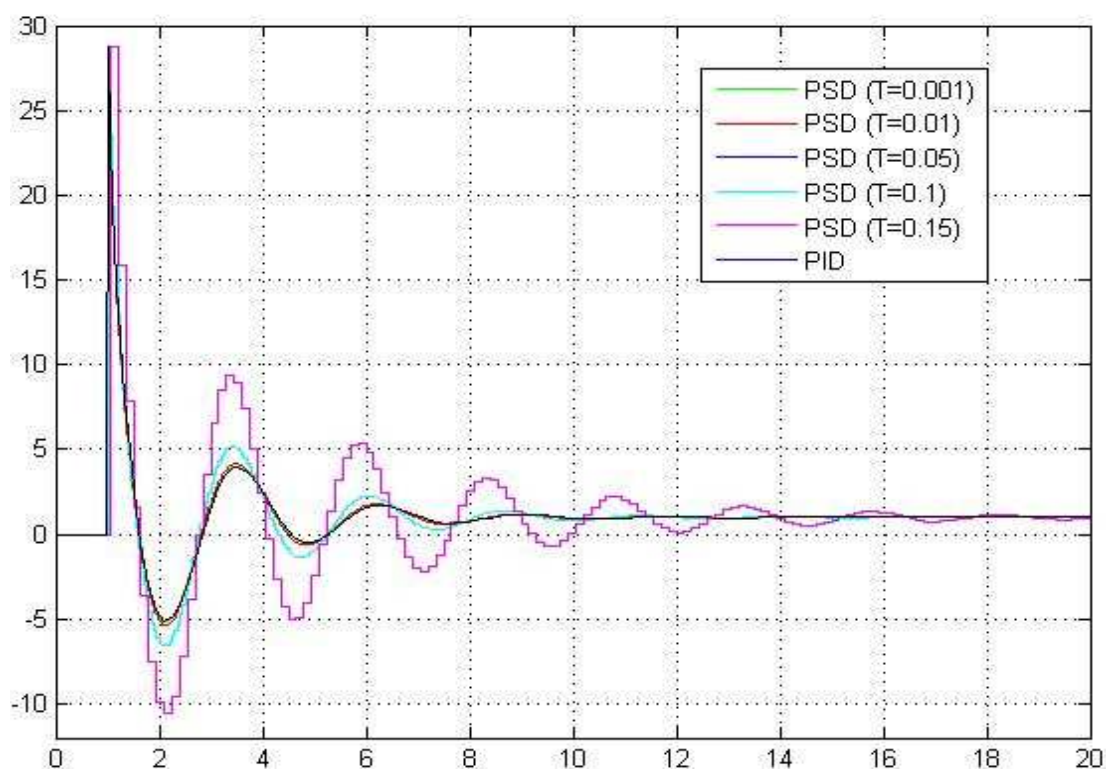
Přechodová charakteristika poruchy nám ukazuje, že vliv změny periody vzorkování na maximální amplitudu regulované soustavy a na akční zásah je až do výše stanovené hranice akceptovatelnosti zanedbatelný.



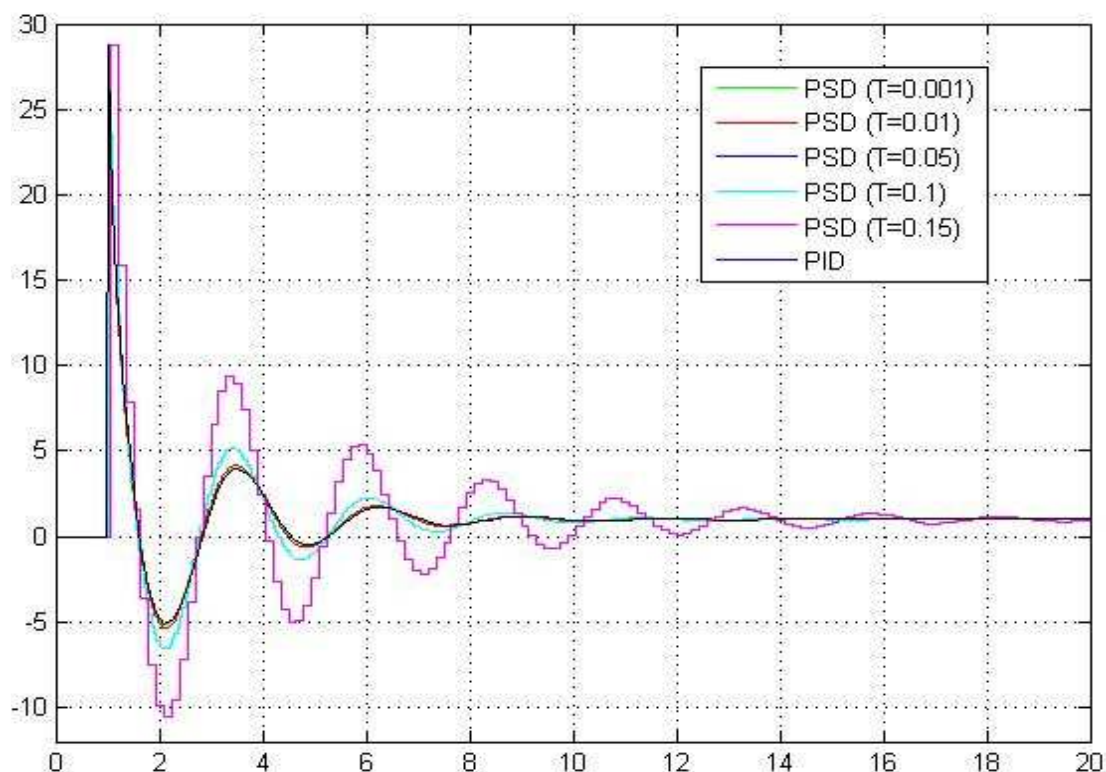
Obr25. PSD+TS1 – Odezvy na jednotkový skok řízení.



Obr26. PSD+TS1 – Odezvy na jednotkový skok poruchy.



Obr.27 PSD+TS1 Akční zásahy na jednotkový skok řízení.



Obr.28. Akční zásahy na jednotkový skok poruchy.

4.1.2 PSD + TS2.

Testovací soustava TS2.

$$F_s = \frac{1 - \alpha s}{(T_1 s + 1)^3} \quad (11)$$

$$\alpha = 1$$

$$T_1 = 1$$

Parametry srovnávacího PID regulátoru byly nastaveny na tři překmity skokové změny řízení

$$K=1,1$$

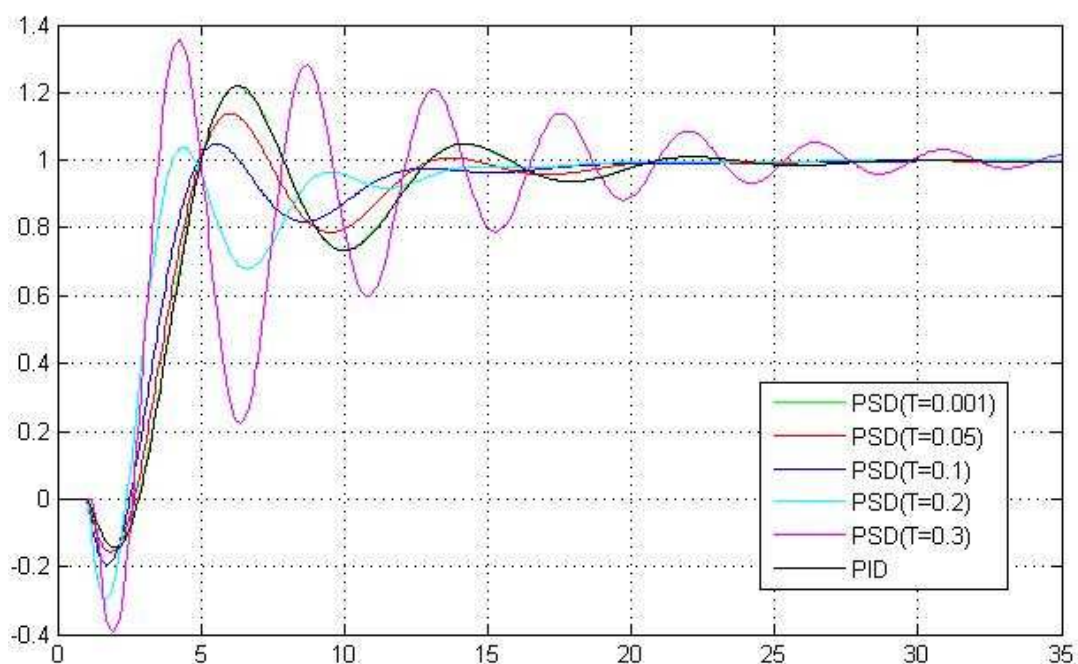
$$T_i=4$$

$$T_d=0,1$$

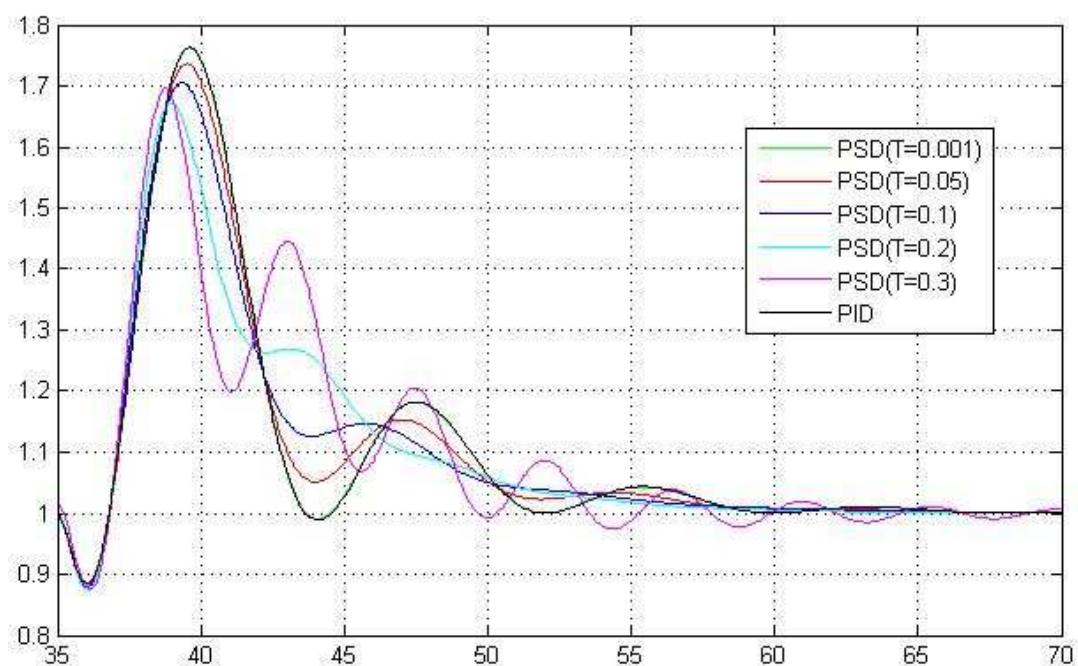
$$N=5$$

Omezovače integrační složky a akčního výstupu regulátoru vypnuty.

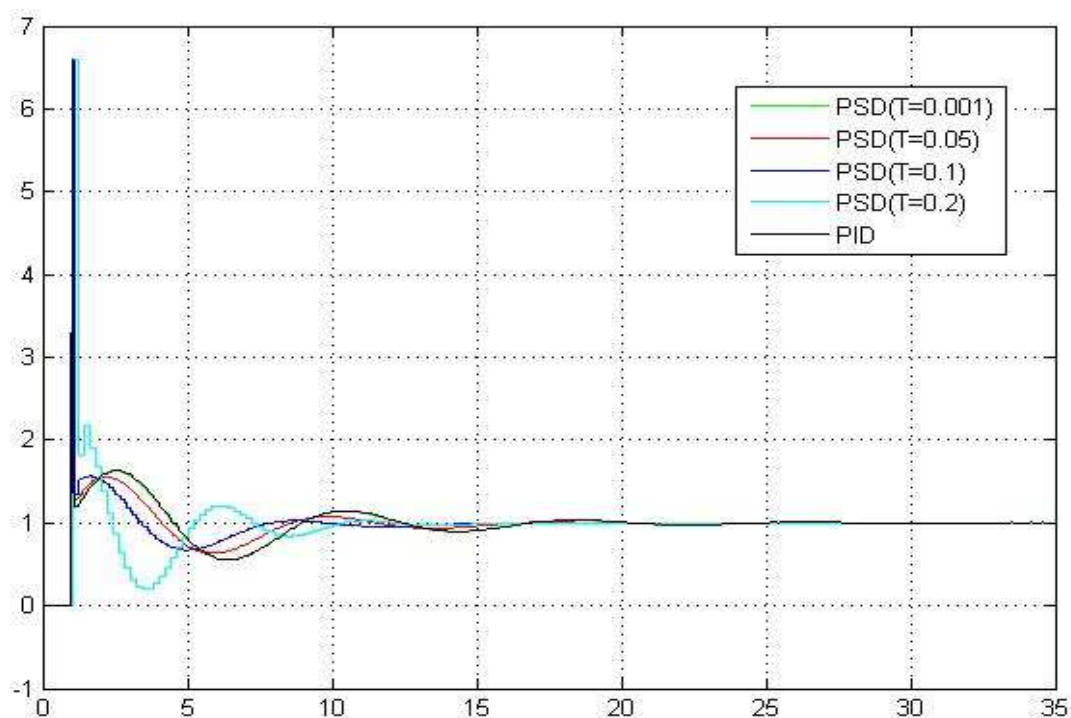
Z přechodových charakteristik je vidět, že hranice akceptovatelnosti vzorkovací periody se sice oproti nasazení na soustavu TS1 nezměnila, ale překročení této hranice znamená rychlé zhoršení regulačních dějů a to jak u řízení, tak u poruchy.



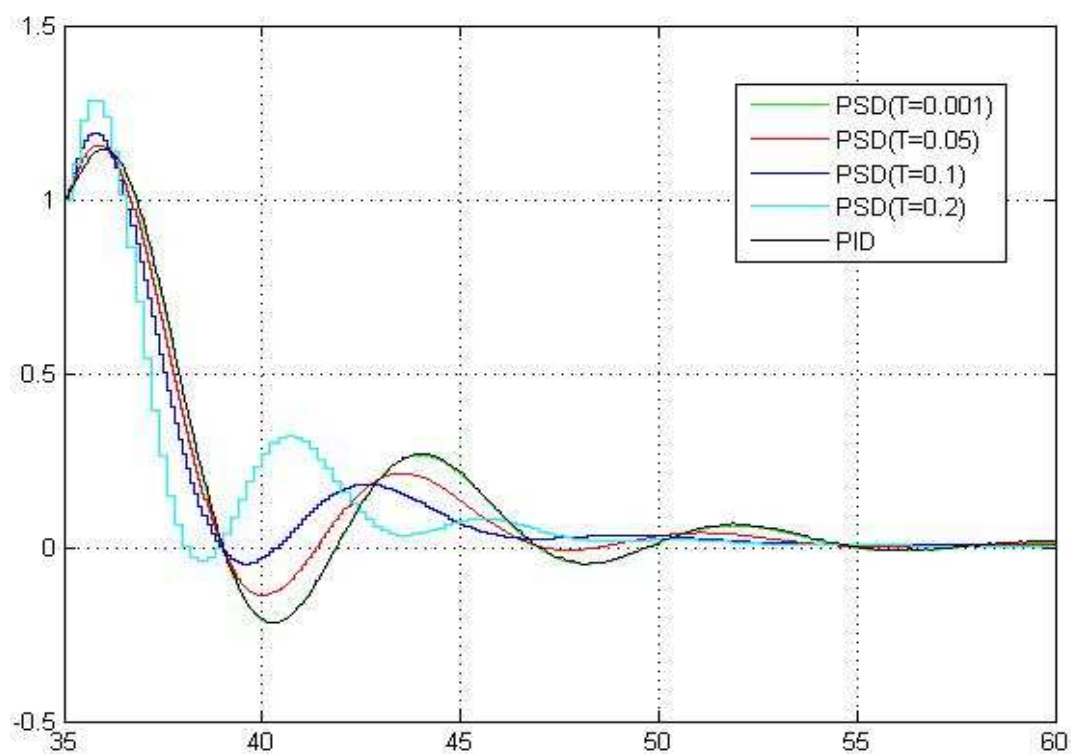
Obr29. PSD + TS2 Odezvy na jednotkový skok řízení.



Obr30. PSD + TS2 Odezvy na jednotkový skok poruchy.



Obr31. PSD + TS2 Akční zásahy na jednotkový skok řízení.



Obr32. PSD + TS2 Akční zásahy na jednotkový skok poruchy.

4.1.3 PSD + TS3.

Testovací soustava TS3.

$$F_s = \frac{1}{T_1 s + 1} e^{-s} \quad (12)$$

$$T_1 = 0,5$$

Parametry srovnávacího PID regulátoru byly nastaveny na tři překmitý skokové změny řízení

$$K = 0,7$$

$$T_i = 1$$

$$T_d = 0,1$$

$$N = 5$$

Omezovače integrační složky a akčního výstupu regulátoru vypnuty.

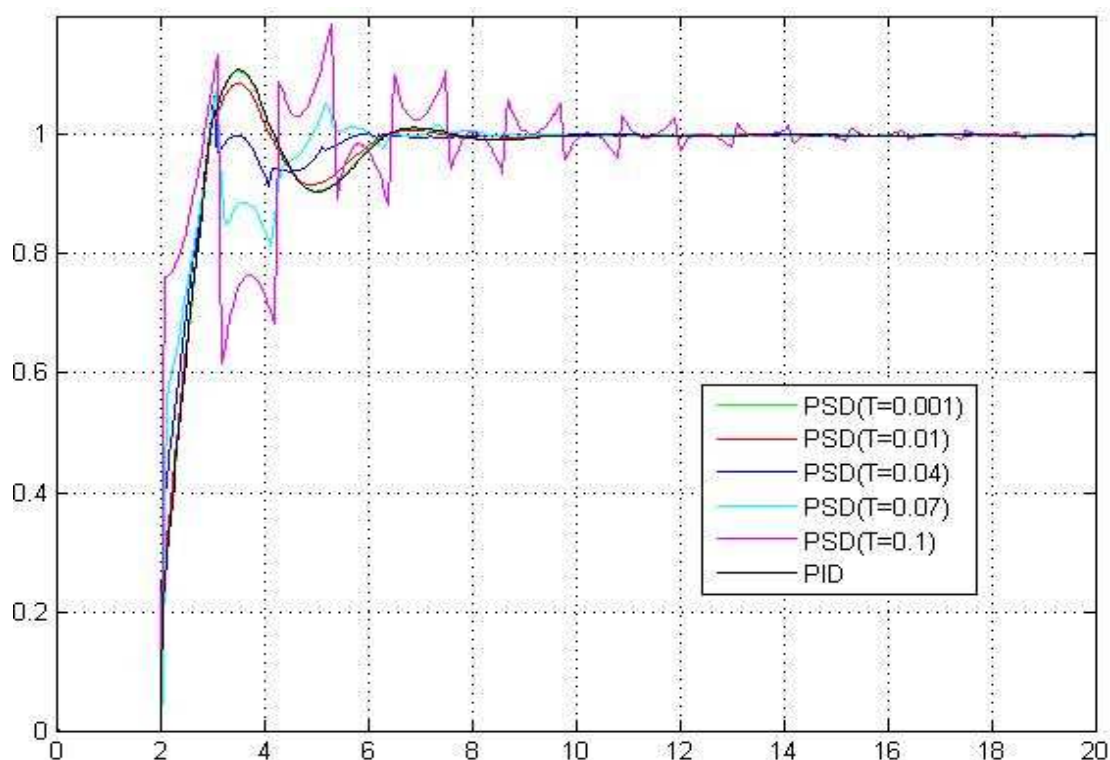
Z přechodové charakteristiky řízení je vidět, jak se zvětšováním periody vzorkování se rychle zhoršuje kvalita řízení.

Hranicí akceptovatelnosti je perioda vzorkování $T = 0,02 T_1$. Do této hranice je kvalita regulace srovnatelná s PID regulátorem.

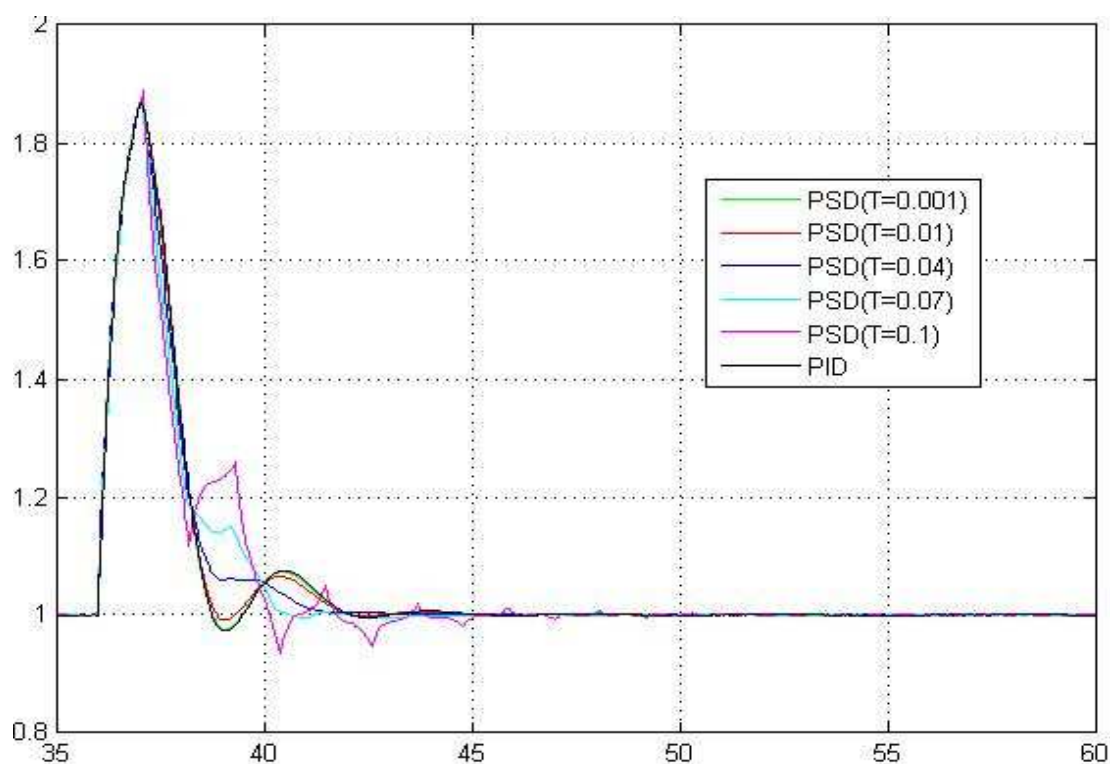
Přechodová charakteristika poruchy nám ukazuje, že vliv změny periody vzorkování na kvalitu regulace poruchy je obdobný jako u řízení.

Závěrem je možno konstatovat, že v případě nasazení PSD regulátoru na soustavu s dopravním zpožděním je nutné použít dostatečně malé periody vzorkování ve srovnání s časovými konstantami soustavy a velikostí dopravního zpoždění.

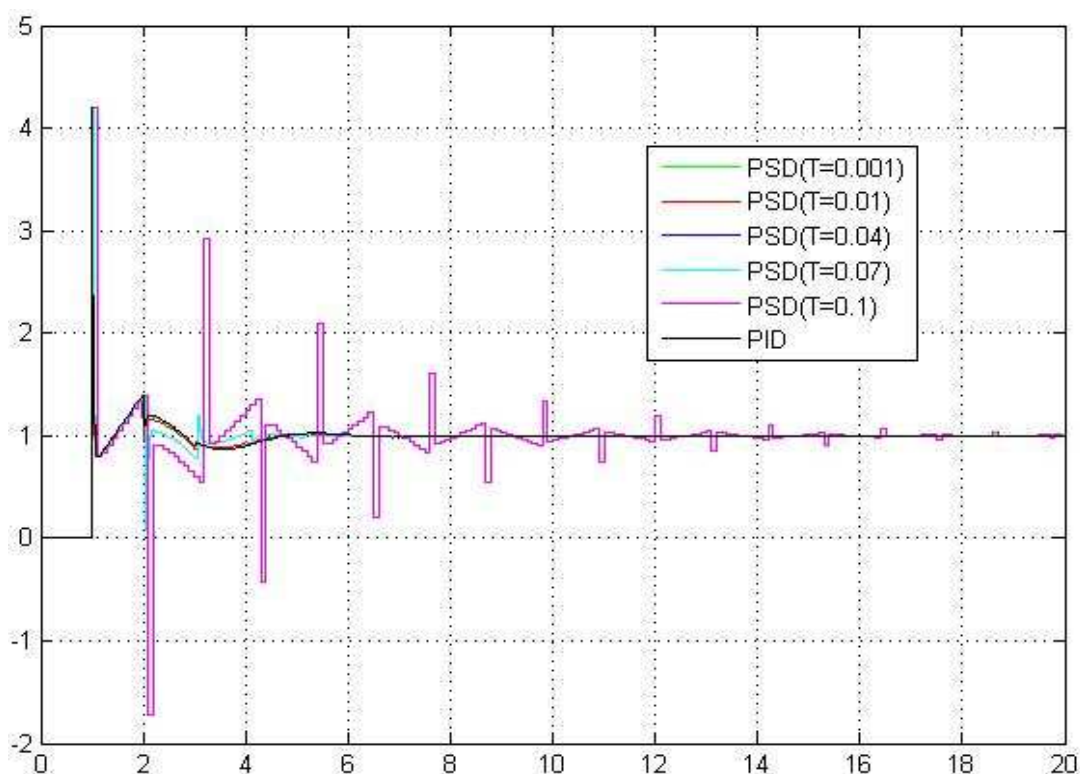
Na příklad s výše uvedenou testovací soustavou je vhodná perioda vzorkování $T = 0,01 T_1$.



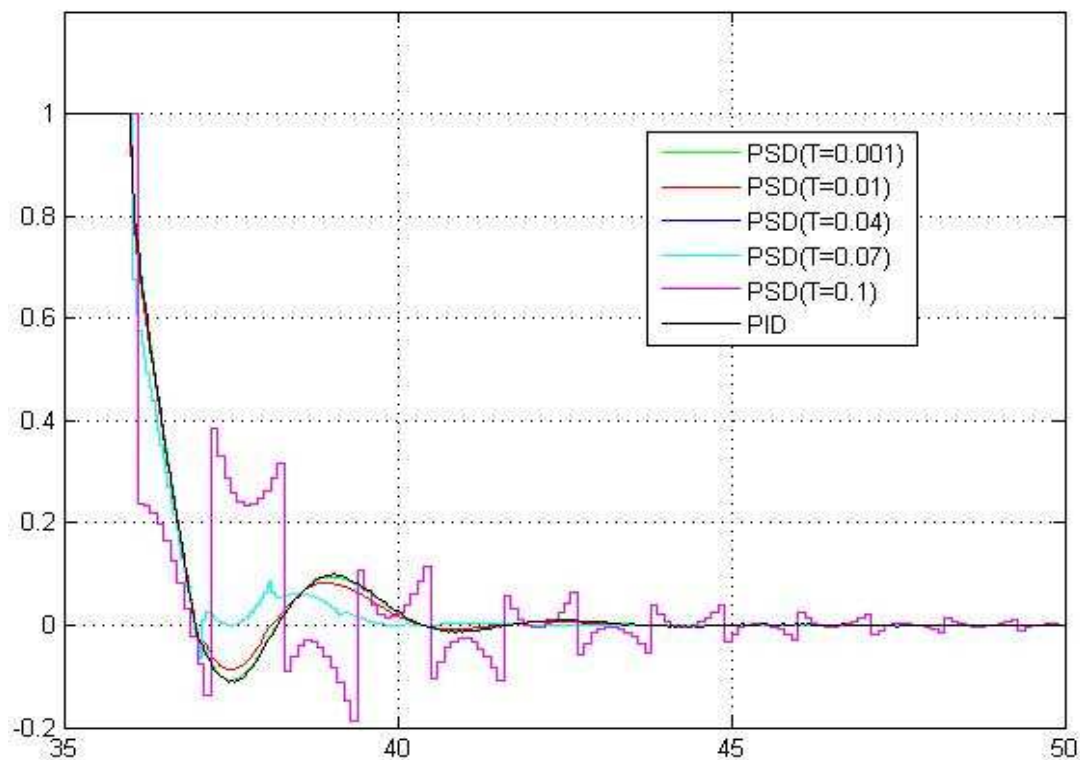
Obr33. PSD + TS3 Odezvy na jednotkový skok řízení.



Obr34 PSD + TS3 Odezvy na jednotkový skok poruchy.



Obr35. PSD + TS3 Akční zásahy na jednotkový skok řízení.



Obr36. PSD + TS3 Akční zásahy na jednotkový skok poruchy.

4.2 PS – D REGULÁTOR .

4.2.1 PS - D + TS1.

Testovací soustava TS1.

$$F_s = \frac{1}{(T_1 s + 1)^2} \quad (13)$$

$$T_1=1$$

Parametry regulátoru byly navrženy tak, aby bylo možné demonstrovat:
 vliv velikosti derivační složky na průběh regulačního pochodu.

$$K=3 \quad T_i=3 \quad T_d = \text{param} \quad N=5 \quad T=0,001$$

vliv velikosti vzorkovací periody

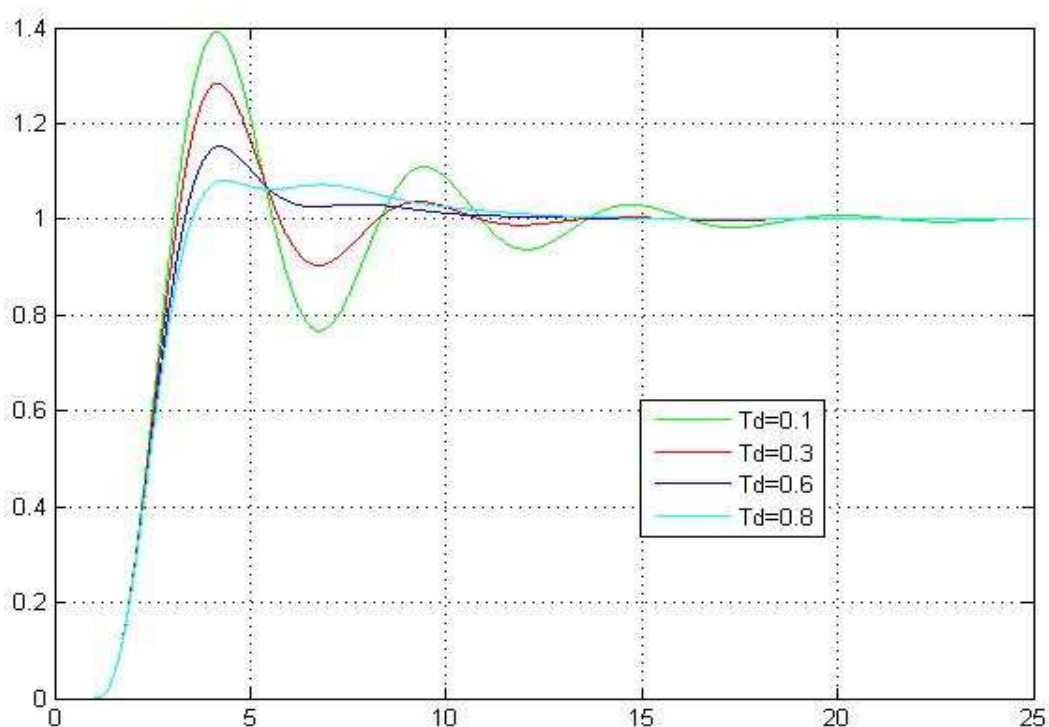
$$K=1 \quad T_i=3 \quad T_d=0,8 \quad N=5 \quad T = \text{parametr}$$

Omezovače integrační složky a akčního výstupu regulátoru vypnuty.

Z odezev na jednotkový skok řízení a poruchy při změnách parametru T_d je vidět vliv derivační (přesněji diferenční) složky akčního zásahu na velikost překmitu regulačního průběhu.

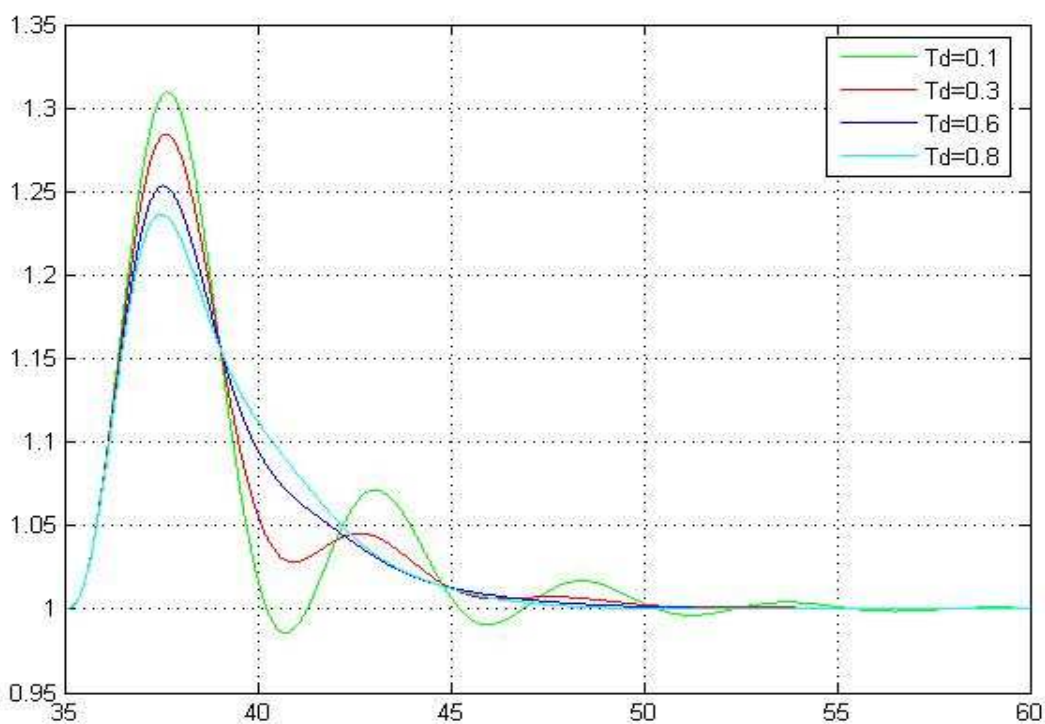
Tento vliv je významný především u regulačního průběhu řízení, kde lze dosáhnout ustálené hodnoty prakticky bez překmitu bez významného prodloužení doby ustálení.

Výsledky ověření potvrzují teoretické předpoklady vlastností regulátoru. V dalším kroku byly nastaveny parametry regulátoru tak, aby odezva řízení byla bez překmitu a byl sledován stejně jako u regulátoru PSD vliv změny periody vzorkování. Výsledky ukazují, že pokud perioda vzorkování nepřekročí 0,1 časové konstanty soustavy, je kvalita regulace prakticky shodná se spojitým PI-D regulátorem.



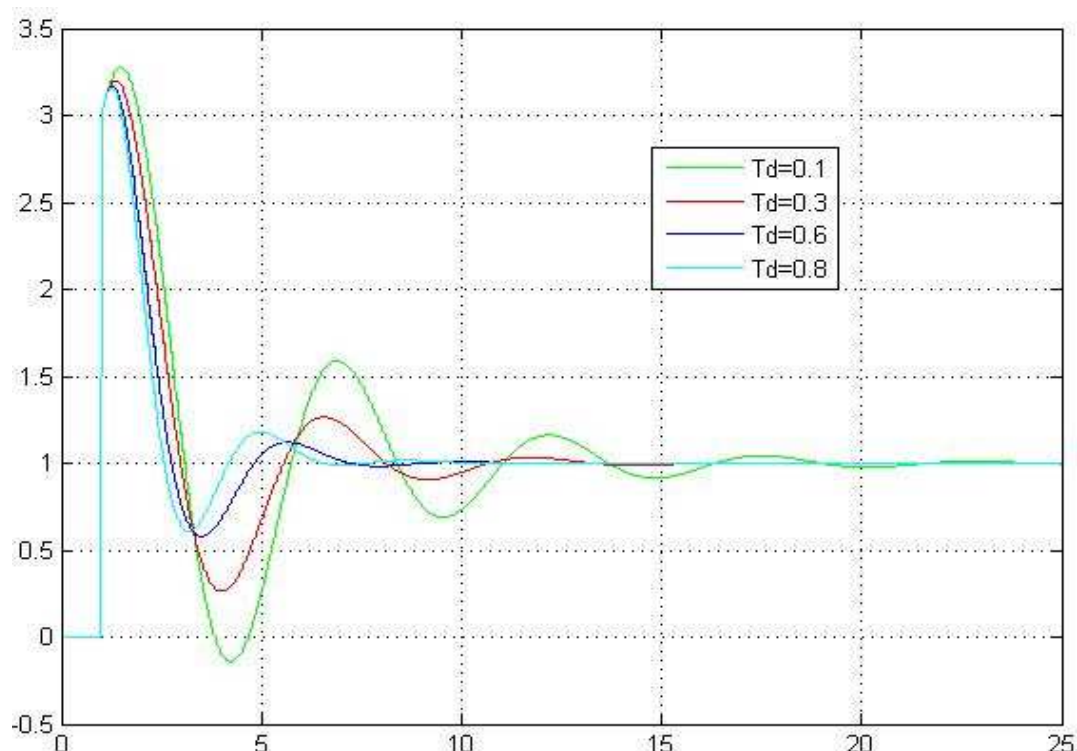
Obr37. PS-D + TS1 Odezvy na jednotkový skok řízení.

Parametrem je diferenční konstanta T_d



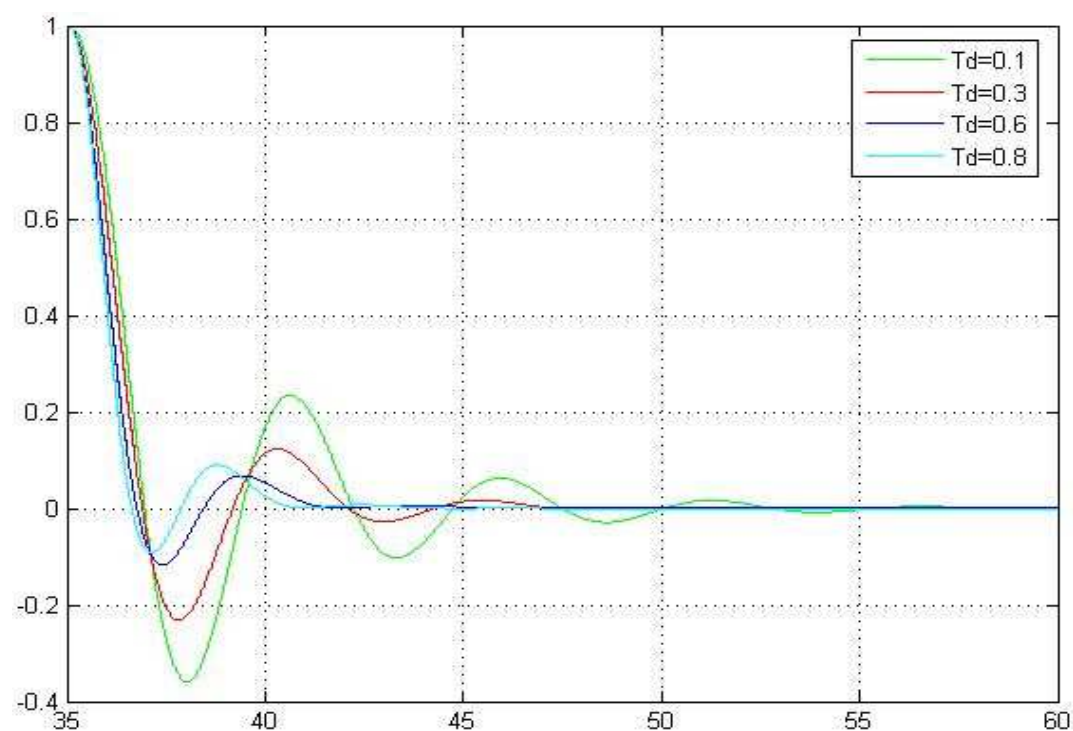
Obr38. PS-D + TS1 Odezvy na jednotkový skok poruchy.

Parametrem je diferenční konstanta T_d



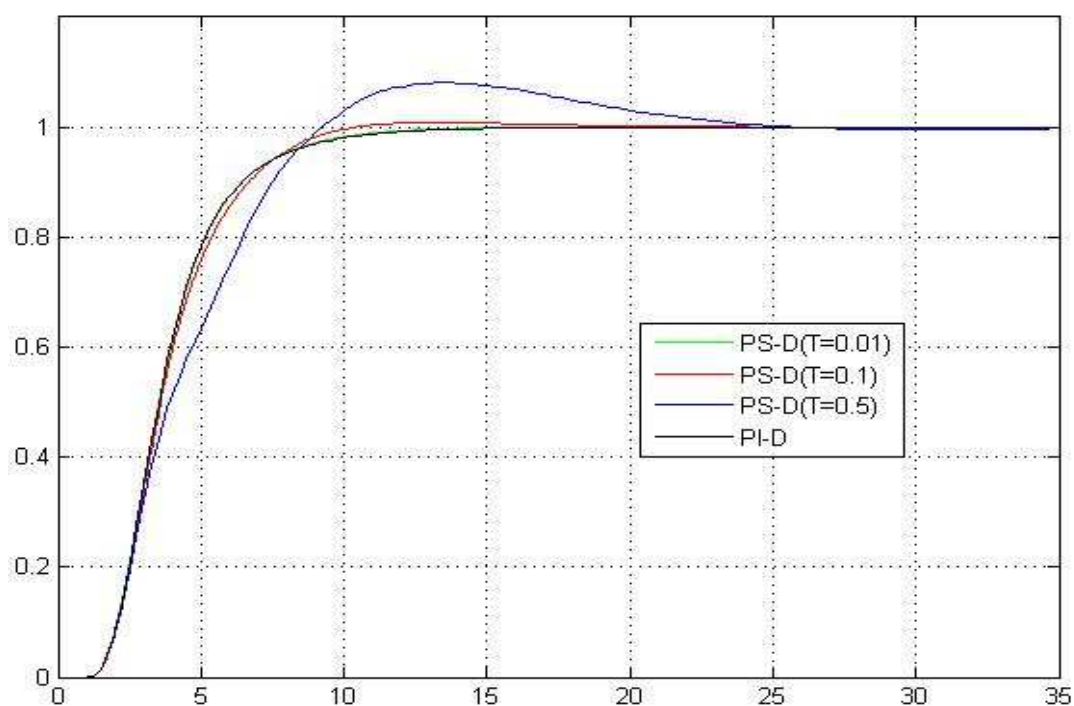
Obr39. PS-D + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok řízení.

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



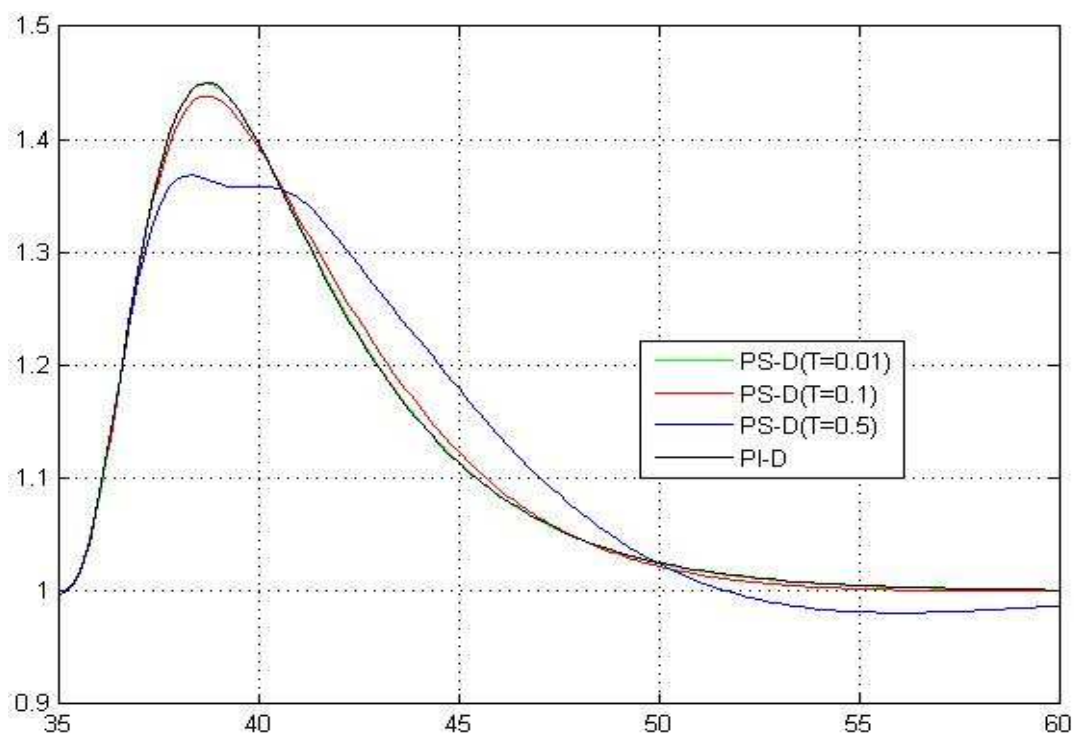
Obr40. PS-D + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



Obr41. PS-D + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok řízení

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



Obr42. PS-D + TS1 Odezvy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je perioda vzorkování T .

4.3 S – PD REGULÁTOR .

4.3.1 S - PD + TS1.

Testovací soustava TS1.

$$F_s = \frac{1}{(T_1 s + 1)^2} \quad T_1 = 1 \quad (14)$$

Parametry regulátoru byly navrženy tak, aby bylo možné demonstrovat:

vliv velikosti derivační složky na průběh regulačního pochodu.

K=4 Ti=2,5 Td =param N=5 T=0,001

vliv velikosti proporcionální složky

K=param Ti=2,5 Td=0,6 N=5 T=0,001

vliv velikosti vzorkovací periody

K=4 Ti=2,5 Td=0,6 N=5 T =parametr

Omezovače integrační složky a akčního výstupu regulátoru vypnuty.

Z odezev na jednotkový skok řízení a poruchy při změnách parametru T_d je vidět vliv derivační (přesněji diferenční) složky akčního zásahu na velikost překmitu regulačního průběhu.

Tento vliv je významný především u regulačního průběhu řízení, kde lze dosáhnout ustálené hodnoty prakticky bez překmitu bez významného prodloužení doby ustálení.

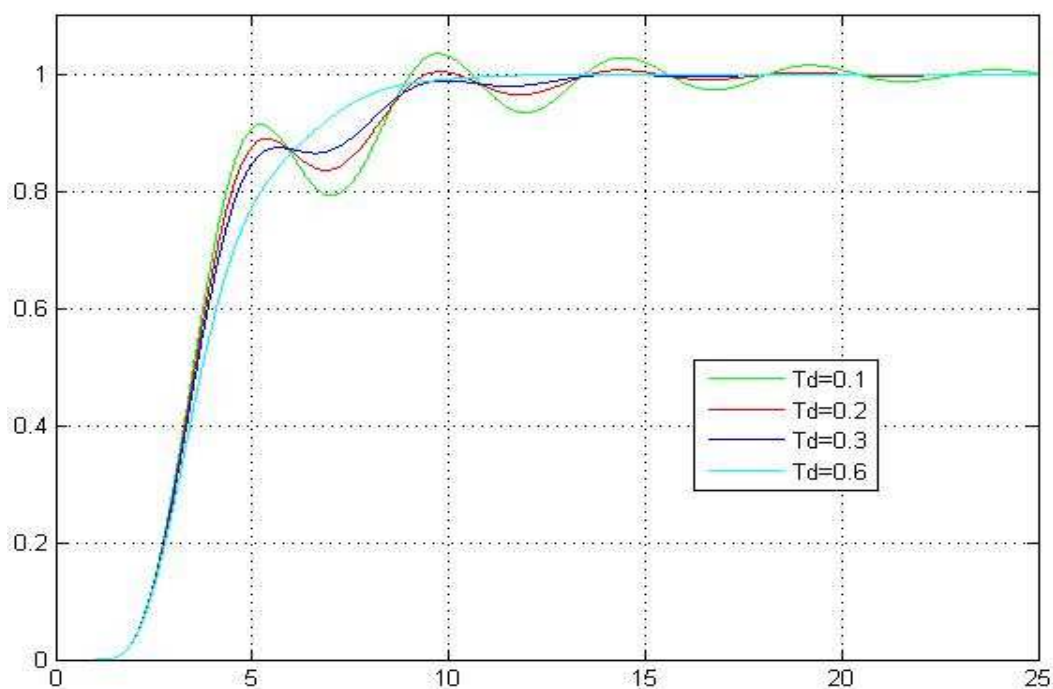
U regulace poruchy lze rovněž odstranit překmity a tím zkrátit dobu odstranění poruchy.

Rovněž vliv proporcionální složky je významný z hlediska rychlosti ustálení přechodného děje a to bez zhoršujícího vlivu na překmit u řízení.

U regulace poruchy proporcionální složka snižuje maximální odchylku a zkracuje dobu odstranění poruchy.

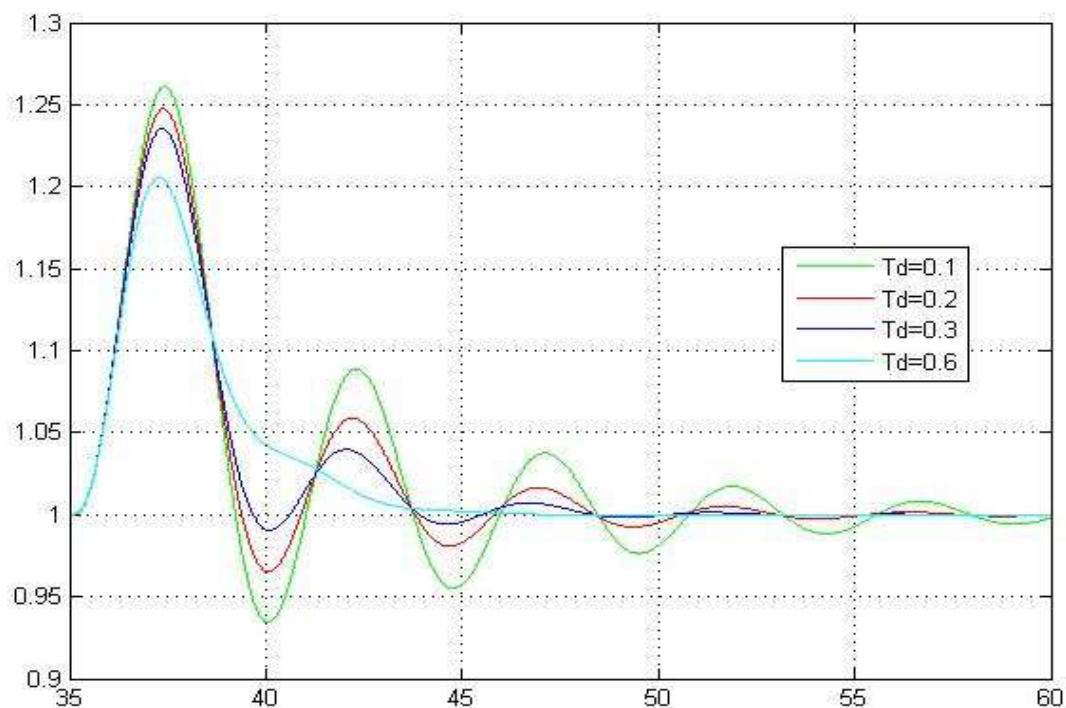
Výsledky ověření potvrzují teoretické předpoklady vlastností regulátoru.

Výsledky vlivu změny periody vzorkování ukazují , že pokud perioda vzorkování nepřekročí 0,1 časové konstanty soustavy, je kvalita regulace prakticky shodná s spojitým I-PD regulátorem.



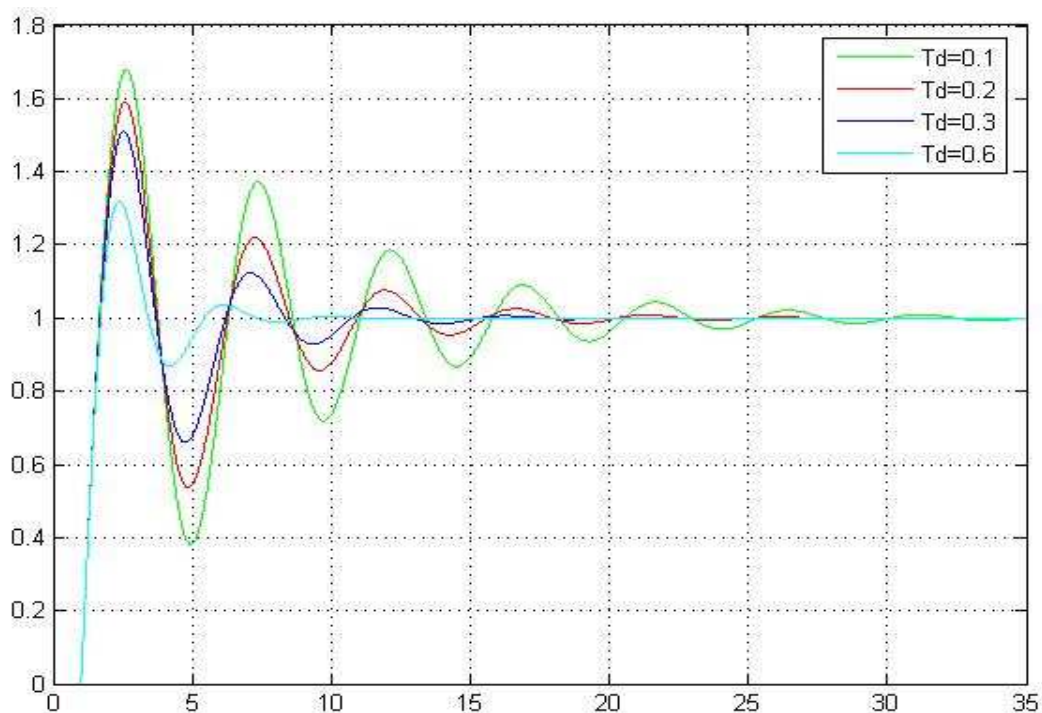
Obr43. S-PD + TS1 Odezvy na jednotkový skok řízení

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



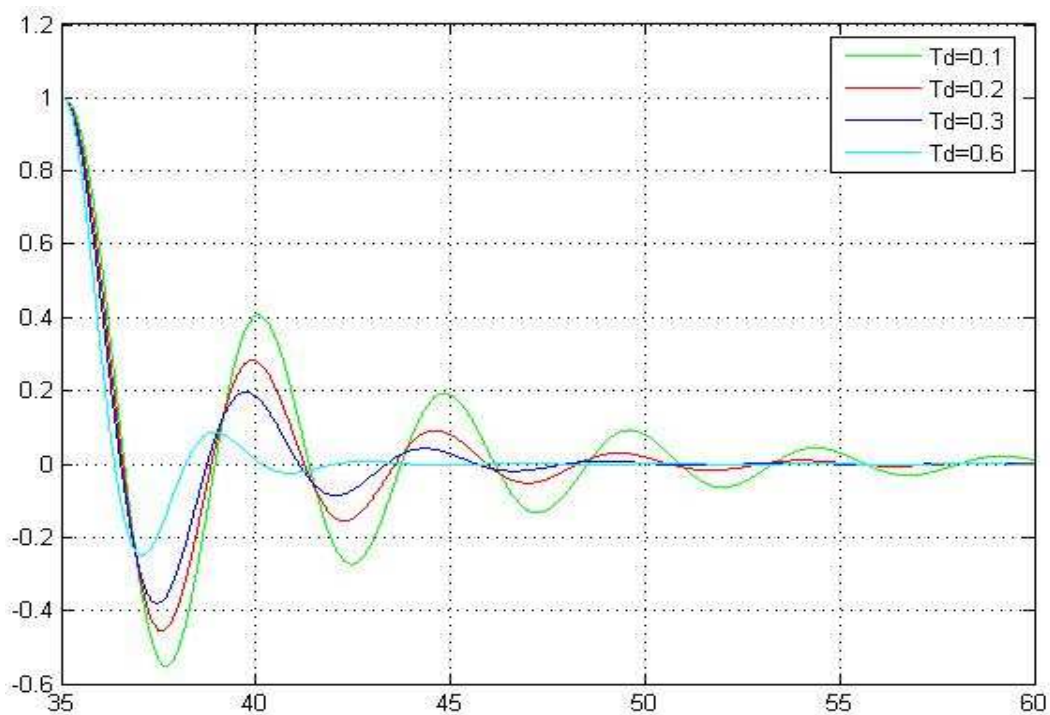
Obr44. S-PD + TS1 Odezvy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



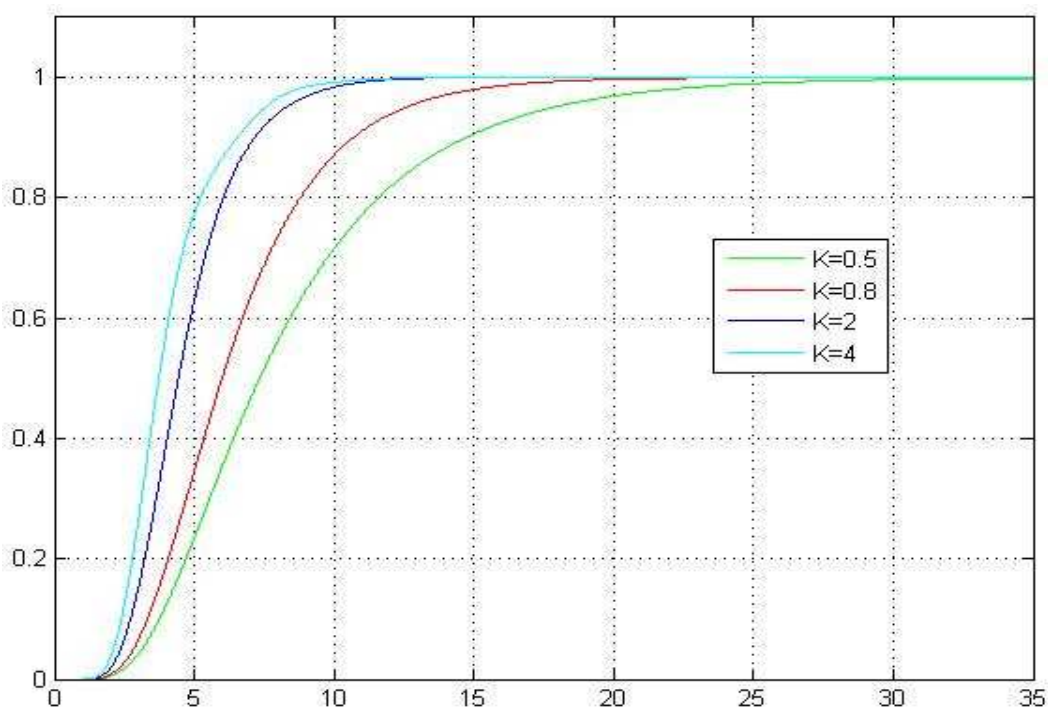
Obr45. S-PD + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok řízení

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



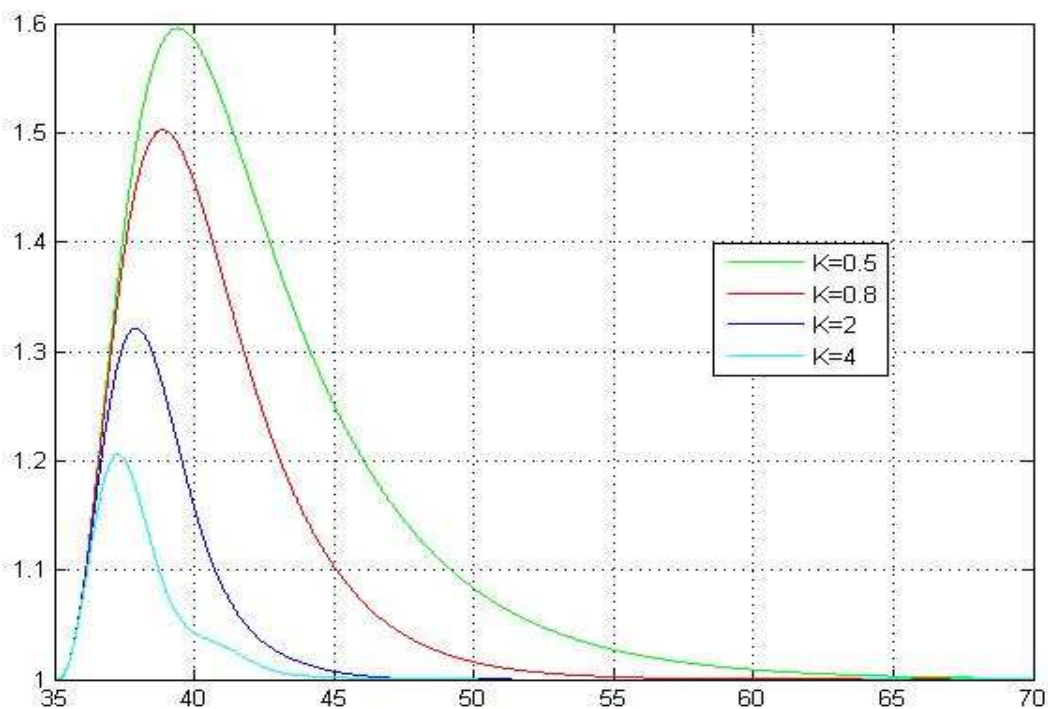
Obr46. S-PD + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je diferenční konstanta T_d .



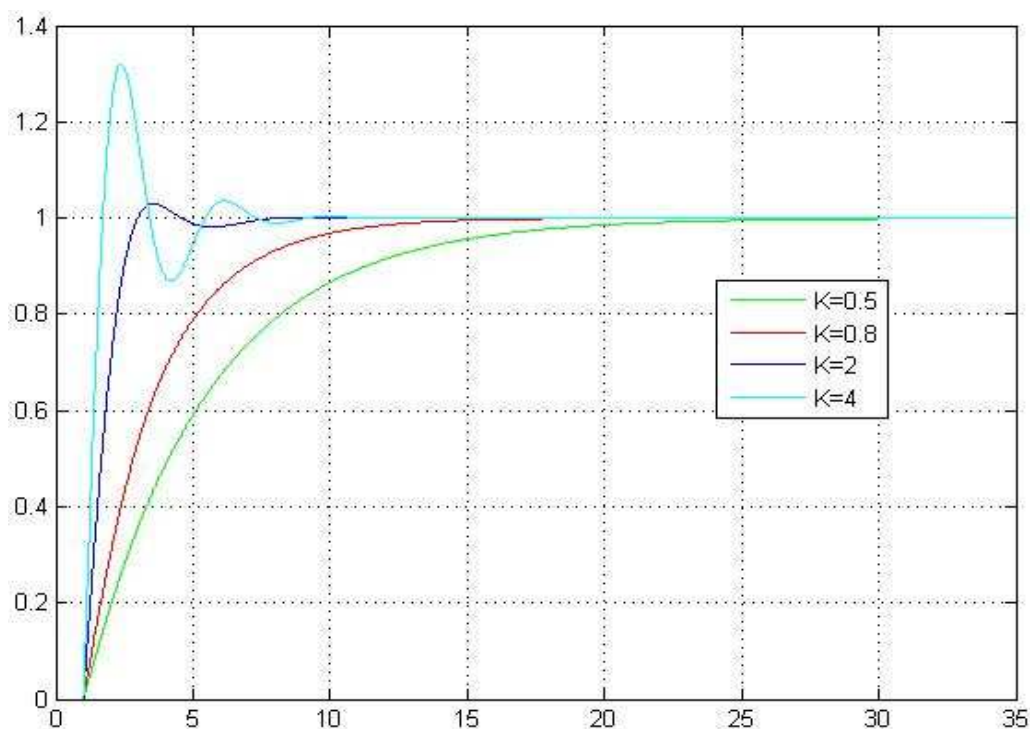
Obr47. S-PD + TS1 Odezvy na jednotkový skok řízení

Parametrem je proporcionální konstanta K .



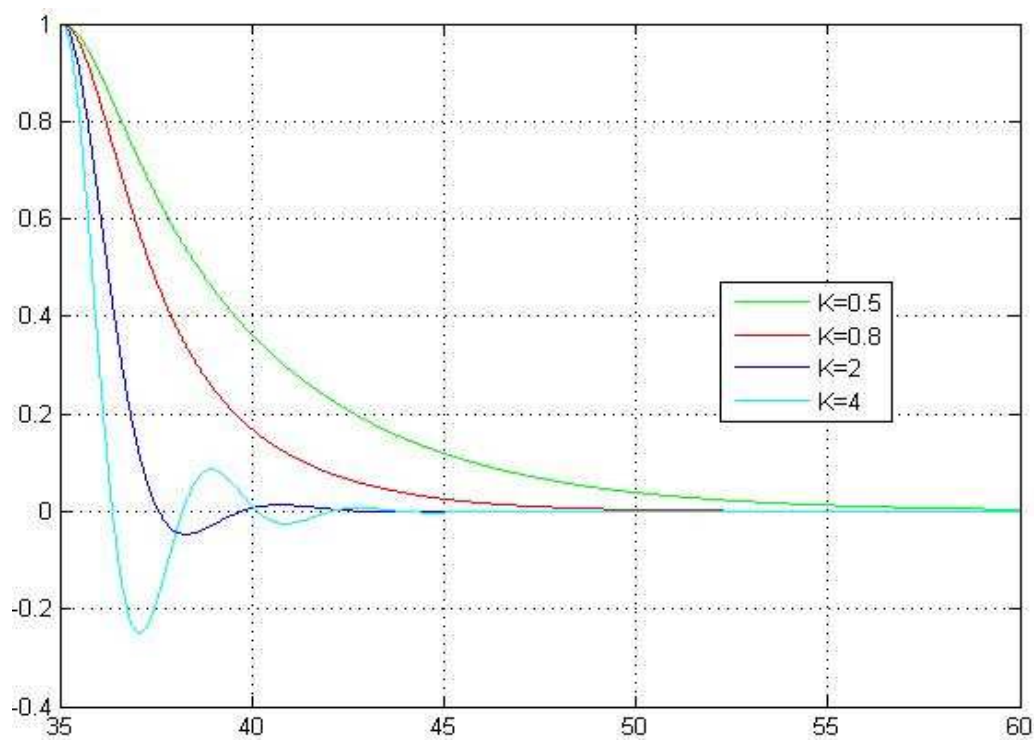
Obr48. S-PD + TS1 Odezvy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je proporcionální konstanta K .



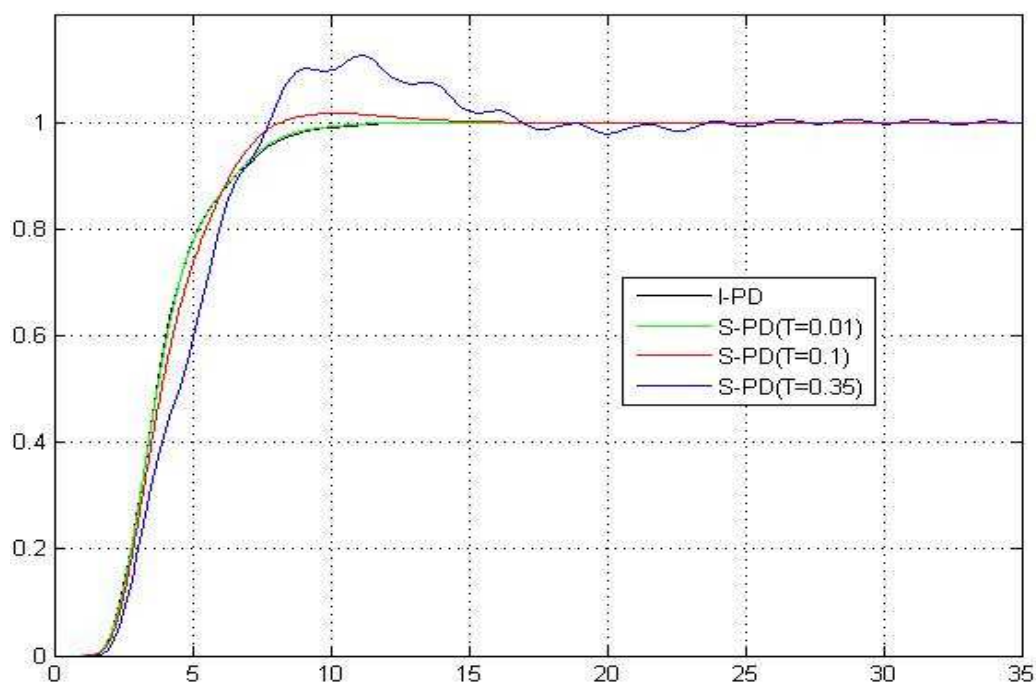
Obr49. S-PD + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok řízení

Parametrem je proporcionální konstanta K .



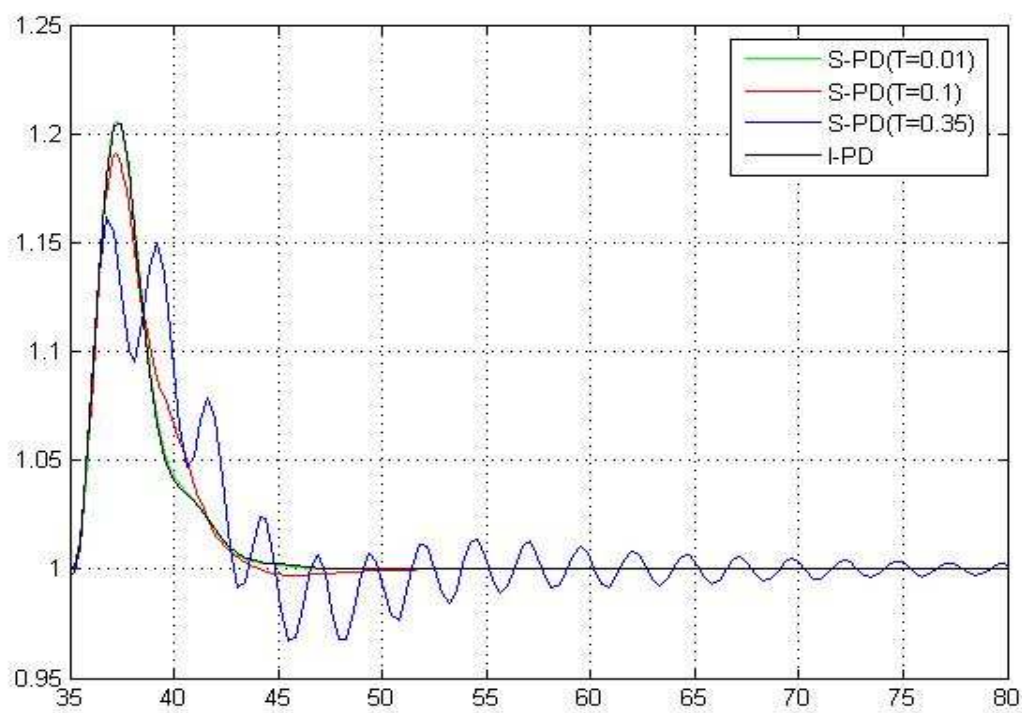
Obr50. S-PD + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je proporcionální konstanta K .



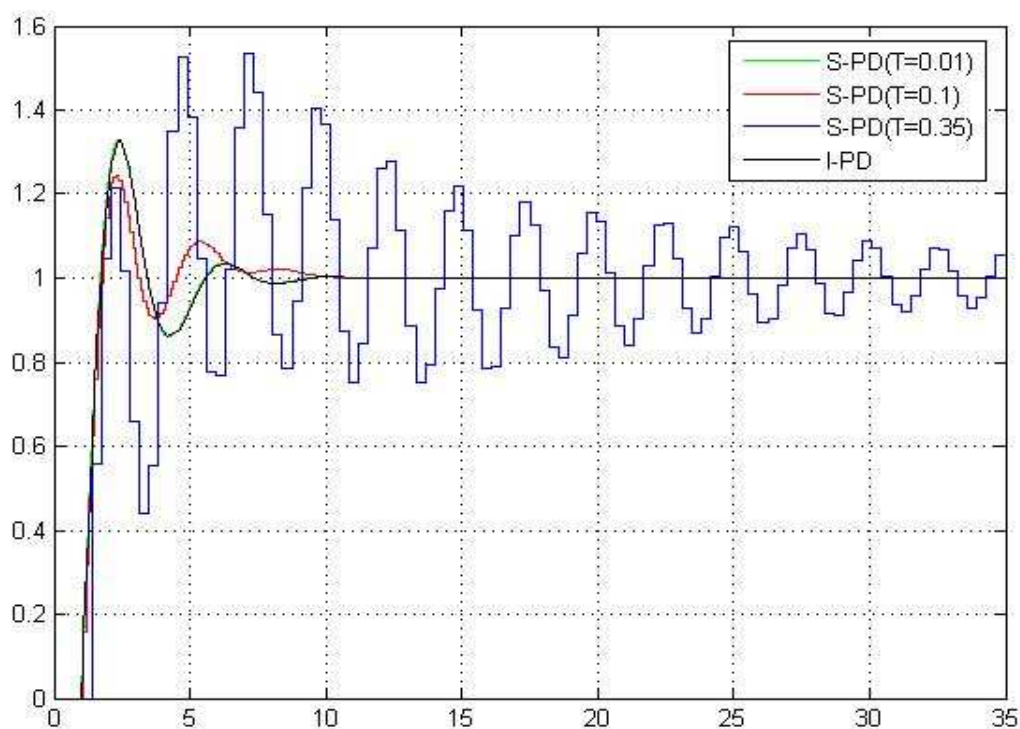
Obr51. S-PD + TS1 Odezvy na jednotkový skok řízení

Parametrem je perioda vzorkování T .



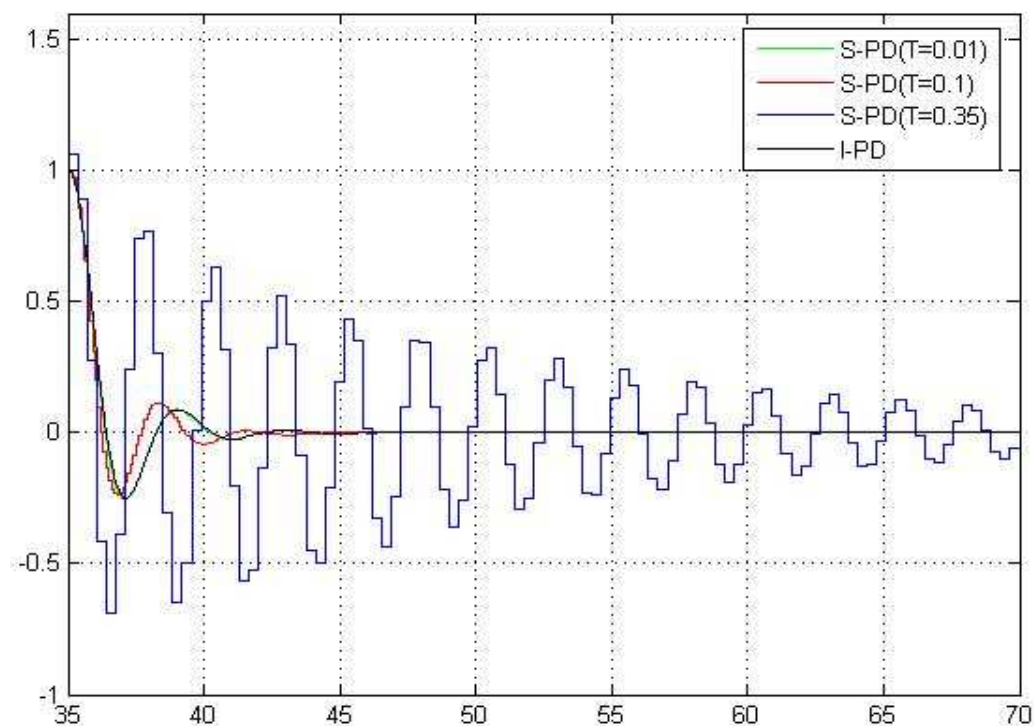
Obr52. S-PD + TS1 Odezvy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je perioda vzorkování T .



Obr53. S-PD + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok řízení

Parametrem je perioda vzorkování T .



Obr54. S-PD + TS1 Akční zásahy na jednotkový skok poruchy

Parametrem je perioda vzorkování T .

5. ZÁVĚR

V práci jsou popsány v první kapitole základní struktury spojitých P+I+D a v druhé kapitole diskrétních P+S+D regulátorů a prostřednictvím přechodových charakteristik demonstrovány funkce jednotlivých složek.

Obsahem třetí kapitoly je pak ověření popsanych P+S+D regulátorů na vybraných testovacích soustavách a jejich srovnání s funkcí odpovídající struktury spojitého regulátoru P+I+D.

Nasazením regulátoru na modely soustav bylo zjištěno, že nahrazení spojitého regulátoru diskrétním vyžaduje následně i změnu původních parametrů regulátoru. Důvodem jsou A/D převodníky nutné pro připojení diskrétní části obvodu, vnášející do obvodu dopravní zpoždění. Abychom dosáhli při řízení soustavy identických výsledků, je nutné úpravou parametrů PSD regulátoru tento vliv kompenzovat.

Také bylo prokázáno, že ekvivalentní PSD regulátor musí být vybaven filtrací derivační složky, aby jeho reakce odpovídaly spojitému protějšku.

Součástí ověřování je demonstrace vlivu jednotlivých složek struktur regulátoru na průběh regulačního děje.

Rovněž tak je demonstrován vliv změny vzorkovací periody na kvalitu regulace. Na praktické ukázce bylo ukázáno, že nestačí při volbě vhodné vzorkovací periody dodržet pouze Shannon-Kotelníkův teorém, ale abychom dosáhli stejné kvality řízení jako u spojitého regulátoru, je nutné nastavit vzorkovací periodu minimálně o řád menší. Ovšem současně je nutné mít PSD regulátor vybavený kvalitní filtrací derivace, aby nedošlo k nechtěnému zesílení různých šumů v obvodu a jejich přenesení do akčního zásahu regulátoru.

V rámci práce byly rovněž ověřeny dvě modifikace klasického PSD regulátoru. Jedná se o jednoduché úpravy vlastní struktury, ale jejich vliv je velmi

významný, a možnosti použití PSD regulátoru se díky nim výrazně rozšiřují. Přestože existují další modifikace, pro tuto práci byly vybrány tyto dvě, neboť mají analogii ve spojitě oblasti a je možné porovnat jejich výsledky při řízení testovacích soustav.

Modifikované regulátory byly porovnány s jejich spojitými protějšky, a z nasazení na testovacích soustavách vyšlo najevo, že při dodržení dostatečně malé vzorkovací periody je jejich chování shodné, nicméně byla stejně jako v případě základního PSD regulátoru nutná změna parametrů regulátoru, aby byl kompenzován vliv A/D převodníkem vnášeného dopravního zpoždění.

Demonstrace je realizována formou grafického zobrazení časových průběhů regulovaných veličin a akčních zásahů regulátorů během regulačního děje.

Lze konstatovat, že získané výsledky potvrzují teoretické vlastnosti ověřovaných struktur regulátorů, tak jak jsou popisovány v odborné literatuře.

6. SEZNAM LITERATURY

- [1] PIVOŇKA, P.: *Číslicová řídicí technika*, VUT Brno, skriptum, 2003.
- [2] PIVOŇKA, P. *Comparative Analysis in Implementations Discrete PID Controllers. In Proceedings East West Fuzzy Colloquium 2008*. Zittau, Germany, 2008. s. 162-167.
- [3] BLAHA, P., VAVŘÍN, P. *Řízení a regulace 1.*, VUT Brno, skriptum, 2005.
- [4] ÅSTRÖM, K. and HÄGGLUND, T. *Benchmark systems for PID kontrol*. IFAC workshop on digital kontrol PID 2000. Terrassa, Spain: 5.-7. April 2000